



**UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH**

**Escola Superior d'Enginyeries Industrial,
Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa**

PROJECTE FINAL DE GRAU

Study of a MPPT (Maximum Power Point Tracking)
for spacecraft applications

Estudi d'un MPPT (Maximum Power Point Tracking)
per aplicacions d'astronaus

GRAU EN ENGINYERIA ELECTRÒNICA INDUSTRIAL I
AUTOMÀTICA

DATA LLIURAMENT: 10 de Juny de 2019

AUTOR: JORDI SANS SOLÉ

TUTOR UNIVERSITAT: DAVID GONZÁLEZ DÍEZ

AGRAÏMENTS

Pensava que aquest moment no arribaria mai, per fi sóc al final dels meus estudis de grau. Moltes vivències i moments viscuts amb alumnes, professors...Sembla que va ser ahir quan vaig entrar a la Universitat per iniciar els meus estudis de grau i ara, em trobo davant el meu ordinador redactant la memòria del treball que finalitza el grau.

En primer lloc donar gràcies als professors que m'han ajudat dia rere dia a poder desenvolupar el projecte amb èxit. A Manel Lamich per la seva paciència, les llargues tardes al laboratori i el seu ajut en tots els aspectes tècnics que necessitava. A Javier Gago, per totes les tardes passades al laboratori en el disseny de la placa i llistat de components. A David González, per confiar en mi i donar-me l'oportunitat de participar en el projecte. A tots ells per l'esforç, dedicació i temps al meu projecte, sense ells no hagués sigut possible la seva realització.

Al meu company Daniel Valverde, per totes les tardes i moments viscuts dia rere dia per a poder tirar endavant els nostres respectius projectes amb èxit.

A la universitat per tot el material i les instal·lacions que m'ha deixat per a poder realitzar el treball. Així com l'accés sempre que volia al laboratori d'investigació.

Per últim però no menys important, a la meva família i amics, que m'han donat suport i ànims durant tota la carrera. Tota aquella paciència dipositada en mi, culmina en aquest projecte.

A tots els nombrats i possiblement em deixi alguns altres, moltes gràcies per tot l'esforç ja que sense vosaltres no hagués sigut possible arribar on he arribat i molt menys realitzar un projecte de final de grau com ho estic fent.

RESUM

Aquest projecte és la continuació del treball de final de grau d'un alumne d'ERASMUS (Antoine), que va fer el disseny d'un kit educacional per a un nano satèl·lit de 1U (10 centímetres per aresta) i una massa inferior a 1,33kg conegut i esmenat a partir d'ara com a Cubesat.

Donat que el Cubesat estarà al espai i no tenim cap altre font d'alimentació a part del Sol, portarà unes plaques solars per poder alimentar unes bateries i aquestes, alimentaran tots els components elèctrics del nano satèl·lit.

La funció del MPPT serà trobar en tot moment quin és el punt màxim de la potencia entregada per les plaques solar per a poder carregar les bateries de manera eficient. Alhora, quan es detecti que les bateries estan carregades, s'haurà de desconnectar el sistema de càrrega per tal de no fer-les malbé.

ABSTRACT

This project is the continuation of the Antoine's final project, an old ERASMUS Student, who designed a Nano satellite Educational kit of 1U (10 centimetres per edge) and a mass less than 1.33kg known and called from now as Cubesat.

Since the Cubesat will be in the space and we don't have another energy source than the Sun, it will have solar panels to charge the batteries and these will feed all the electrical components of the Nano satellite.

The function of the MPPT will be find at all time the maximum power delivered by the solar panels to able to charge efficiently the batteries. At the same time, when it is detected that the batteries have been charged, the charging system must be disconnected in order not to damage them.

ÍNDEX

| | |
|---|----|
| 1. INTRODUCCIÓ | 9 |
| 2. OBJECTIU | 10 |
| 3. ABAST | 11 |
| 4. ESPECIFICACIONS | 11 |
| 4.1 BOM (BILL OF MATERIALS) | 12 |
| 5. JUSTIFICACIÓ I UTILITAT | 12 |
| 6. ESTUDI PREVI | 13 |
| 6.1 SMALLSATS | 13 |
| 6.2 CUBESAT | 15 |
| 6.2.1 Breu Història | 16 |
| 6.2.2 Fora de l'òrbita terrestre | 17 |
| 6.3 PCB | 18 |
| 6.4 Panells Solars | 21 |
| 6.5 Convertidors | 23 |
| 6.5.1 Convertidor Buck | 23 |
| 6.5.2 Convertidor Boost | 24 |
| 6.5.3 Convertidor Buck-Boost | 24 |
| 6.6 Bateries | 25 |
| 7. PLANTEJAMENT I SELECCIÓ D'ALTERNATIVES | 26 |
| 7.1 INTRODUCCIÓ AL MPPT | 26 |
| 7.2 COMPARACIÓ MPPT VS PWM | 27 |
| 7.3 DIFERENTS TIPUS D'ALGORISME MPPT | 29 |
| 7.3.1 Pertorbació i Observació | 29 |
| 7.3.2 Increment de la conductància | 31 |
| 7.3.3 Control Lògica Difusa | 33 |
| 8. DESENVOLUPAMENT DE LA SOLUCIÓ PROPOSADA | 35 |
| 8.1 Programació Arduino | 35 |

| | |
|--|----|
| 8.2 Complicacions programació | 35 |
| 8.3 Complicacions Disseny | 36 |
| 9. SIMULACIÓ | 37 |
| 9.1 Disseny simulat | 37 |
| 9.2 Resultat de les simulacions | 40 |
| 9.3 Conclusions dels resultats obtinguts | 45 |
| 10. PLANIFICACIÓ I PRESSUPOST | 46 |
| 10.1 Diagrama de Gantt | 46 |
| 10.2 Pressupost | 47 |
| 11. CONCLUSIONS FINALS | 48 |
| 12. TREBALLS FUTURS | 49 |
| 13. BIBLIOGRAFIA | 50 |

ÍNDEX DE FIGURES

| | |
|--|----|
| Fig. 1 CubeSat | 9 |
| Fig. 2 Diferents tipus de SmallSats | 14 |
| Fig. 3 Gràfica llançament SmallSats [2] | 14 |
| Fig. 4 Exemple mides CubeSat | 15 |
| Fig. 5 Layout PCB placa GaN | 19 |
| Fig. 6 Esquema placa GaN | 19 |
| Fig. 7 Layout PCB placa Si..... | 20 |
| Fig. 8 Esquema placa Si | 20 |
| Fig. 9 Panells solars IXOLAR model SLMD121H10L..... | 21 |
| Fig. 10 Gràfica radiació solar de dues cares oposades..... | 22 |
| Fig. 11 Exemple distribució panell solars | 22 |
| Fig. 12 Representació convertidor Buck [6]..... | 23 |
| Fig. 13 Representació convertidor Boost [7]..... | 24 |
| Fig. 14 Representació convertidor Buck-Boost [8] | 24 |
| Fig. 15 Paquet de piles (Bateria) | 25 |
| Fig. 16 Extrusió 3D de la bateria | 25 |
| Fig. 17 Corba potència panell solar..... | 27 |
| Fig. 18 Corba potència panell solar amb regulador PWM | 28 |
| Fig. 19 Gràfica P&O Voltatge-Corrent | 29 |
| Fig. 20 Gràfica Voltatge-Potència..... | 29 |
| Fig. 21 Diagrama de flux mètode P&O [12]..... | 30 |
| Fig. 22 Diagrama de flux mètode InCond [13] | 31 |
| Fig. 23 Diagrama flux Fuzzy Logic Control [14]..... | 33 |
| Fig. 24 Simulació Panells Solars i MPPT en SIMULINK | 37 |
| Fig. 25 Finestra configuració Panells Solars | 38 |
| Fig. 26 Valors de corrent i voltatge mòdul PV a 100 W/m ² | 40 |
| Fig. 27 Gràfica potència mòdul PV a 100 W/m ² | 41 |
| Fig. 28 Gràfica comparació potències a 100 W/m ² | 41 |
| Fig. 29 Valors de corrent i voltatge mòdul PV a 500 W/m ² | 42 |
| Fig. 30 Gràfica potència mòdul PV a 500 W/m ² | 42 |
| Fig. 31 Gràfica comparació potències a 500 W/m ² | 43 |

| | |
|---|----|
| Fig. 32 Valors de corrent i voltatge mòdul PV a 1000 W/m ² | 43 |
| Fig. 33 Gràfica potència mòdul PV a 1000 W/m ² | 44 |
| Fig. 34 Gràfica comparació potències a 1000 W/m ² | 44 |
| Fig. 35 Activitats i dates de la planificació del projecte..... | 46 |
| Fig. 36 Diagrama de Gantt | 46 |

ÍNDEX DE TAULES

| | |
|--|----|
| Taula 1 Llista de components (BOM) | 12 |
|--|----|

1. INTRODUCCIÓ

El projecte es basa en el disseny i implementació de l'algorisme d'un seguidor del punt màxim de potència (Maximum Power Point Tracker), conegut a partir d'ara com a MPPT.

Paral·lelament, el meu company (Daniel Valverde) farà el disseny de la placa de potència del Cubesat dissenyat per Antoine, Fig.1.

Un cop es tingui el disseny de la placa, el seu algorisme de potència i la senyal de polsos PWM dissenyada, es procedirà a fer la seva implementació amb l'algorisme MPPT i es provarà el seu funcionament.

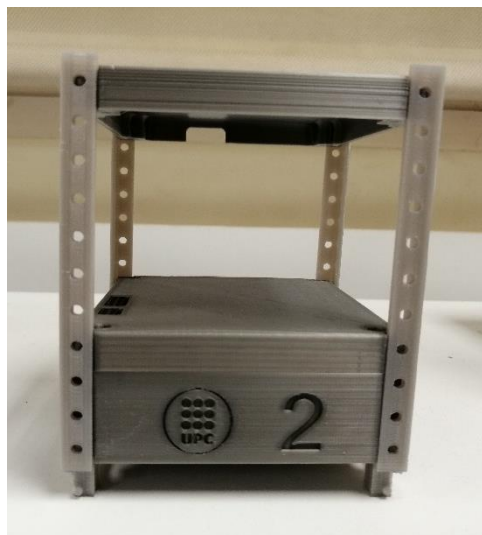


Fig. 1 CubeSat

2. OBJECTIU

Aquest projecte consisteix en la implementació pràctica d'un algorisme MPPT aplicat a un kit educacional d'un CubeSat de 1U. A continuació es descriuran els objectius que han estat presents durant des de l'inici fins la finalització del desenvolupament del algorisme d'un MPPT.

L'objectiu principal d'aquest projecte és el de carregar les bateries del CubeSat, amb la particularitat de realitzar de la manera més eficient possible, aprofitant la radiació instantània captada pels panells solars. Per aconseguir una càrrega òptima de la bateria es necessari trobar en cada instant el seu MPP (Màxim Power Point). En aquest cas, s'obté quan el corrent que li arriba a la bateria és el màxim possible sense que la tensió de sortida es trobi reduïda.

Per a poder trobar el seu MPP en cada moment i poder fer efectiva dita càrrega, el que farem serà desenvolupar un algorisme MPPT que ens faci aquest seguiment del MPP i es puguin carregar les bateries de manera òptima i sense patir cap dany.

Un cop programat l'algorisme, s'implementarà en la PCB juntament amb els panells solars i es comprovarà el seu funcionament.

Finalment, un cop comprovat el funcionament en la PCB, s'implementarà el MPPT amb la part del meu company Daniel Valverde i s'ajustarà el model experimental per a obtenir un únic model conjunt.

3. ABAST

Per tal de poder assolir l'objectiu del estudi, haurem de seguir aquest passos:

- Buscar informació sobre l'estat de l'art dels MPPT en aeronaus espacials.
- Posar en comú la informació que haguem trobat.
- Investigar com fer la programació del MPPT.
- Instal·lació i configuració de l'entorn Arduino.
- Programació del MPPT en l'entorn Arduino.
- Simulació, proves i assajos per comprovar que el MPPT funciona correctament i fa les tasques que nosaltres volem i/o necessitem en MATLAB i Arduino.
- Implementació en la placa del CubeSat i posta en marxa.

4. ESPECIFICACIONS

El CubeSat ha de ser capaç de gestionar la seva pròpia energia, a partir de les plaques solars, i de les bateries. Es per això que ha de saber quan carregar-les o quan desconnectar dita càrrega.

Els requeriments del sistema són els següents:

- Coneixements de programació en un entorn Arduino.
- Coneixements en electrònica de potència.
- Una placa 10x10cm per a poder implementar el MPPT al CubeSat.
- Un CubeSat de 1U.
- BluePill per a poder configurar el MPPT.

4.1 BOM (BILL OF MATERIALS)

A part de les especificacions esmenades anteriorment, també hi ha la llista de components utilitzats segons les especificacions del projecte de l'Antoine:

| Quantity | Designator | Value | Voltage | Tolerance | Current | ESR | Power | Description | Part number |
|----------|--|---------------|---------|-----------|---------|--------|-------|---------------------|--------------------|
| 2 | C12, C25 | 100pF | 25V | 10% | | | | MLCC capacitor | C1206C101K3HACTU |
| 2 | C13, C26 | 10nF | 50V | 10% | | | | MLCC capacitor | 885012208081 |
| 8 | C2, C3, C5, C11, C15, C16, C18, C24 | 100nF | 25V | 10% | | | | MLCC capacitor | 885012208058 |
| 14 | C1, C4, C6, C7, C8, C9, C10, C14, C17, C19, C20, C21, C22, C23 | 3.3uF | 50V | 20% | | 0.2 | | Tantalum capacitor | T521B335M050ATE200 |
| 2 | L1, L2 | 120uH | | 20% | 1.2A | 0.355 | | Power inductor | 74404084121 |
| 8 | P1, P2, P3, P5, P7, P8, P9, P11 | Header, 2-Pin | | | | | | Header, 2-Pin | |
| 4 | P4, P6, P10, P12 | Header, 4-Pin | | | | | | Header, 4-Pin | |
| 2 | Q1, Q2 | NTMFS6B05NT1G | 100V | | 104A | 0.0065 | 138W | Power Si MOSFET | NTMFS6B05NT1G |
| 2 | Q3, Q4 | EPC2045ENGRT | 100V | | 16A | 0.007 | | Power GaN MOSFET | EPC2045ENGRT |
| 4 | R4, R6, R12, R14 | 10 Ω | 200V | 1% | | | 0.25W | Thick-film resistor | CR1206-FX-10R0ELF |
| 4 | R2, R3, R10, R11 | 10k Ω | 200V | 5% | | | 0.25W | Thick-film resistor | RCG120610K0JNEA |
| 2 | R5, R13 | 100k Ω | 200V | 1% | | | 0.25W | Thick-film resistor | CRCW1206100KFKEAC |
| 2 | R7, R15 | 200k Ω | 200V | 1% | | | 0.25W | Thick-film resistor | CR1206-FX-2003ELF |
| 2 | R1, R9 | 0 | | | | | | Thick-film resistor | RCG12060000Z0EA |
| 16 | R8, R16 | 0.1 Ω | | 1% | | | 0.5W | Current shunt | CRM1206AFX-R100ELF |
| 2 | U1, U2 | MAX20307EWL+ | | | | | | | MAX20307EWL+ |

Taula 1 Llista de components (BOM)

5. JUSTIFICACIÓ I UTILITAT

El que es pretén amb aquest projecte és optimitzar la càrrega de les bateries del Cubesat. És per això que es dissenya l'algorisme d'un MPPT. Amb un MPPT el que aconseguirem és saber en tot moment el punt màxim de potencia que es entregat per les plaques solars. Per tant, sabent quin és aquest punt màxim podem carregar les bateries de manera eficient i un cop carregades, podem també desconnectar aquest sistema per no fer malbé les bateries i la resta de components electrònics.

6. ESTUDI PREVI

Per tal de poder realitzar el projecte i també facilitar la seva comprensió, es procedirà a fer una breu descripció dels elements més rellevants que aquest conté.

6.1 SMALLSATS

Petits satèl·lits, alguns més petits que una caixa de sabates, actualment estan orbitant a uns 300 km al voltat de la Terra, recollint dades sobre el nostre planeta i l'univers. No és només la seva mida petita, sinó també el seu reduït cost el que els diferencia dels satèl·lits comercials més grans que transmeten trucades i senyals GPS en tot el món. Aquests SmallSats estan preparats per canviar la manera en que fem ciència des de l'espai. El seu cost tan reduït significa que es poden enviar més d'ells, el que permet la creació de constel·lacions de mesures simultànies des de diferents ubicacions varies vegades al dia, una quantitat de dades que tindrien un cost prohibitiu amb les plataformes tradicionals més grans.

Anomenats SmallSats, aquests dispositius poden variar des de la mida d'una nevera de cuina fins la mida d'una pilota de golf. La mida i cost del satèl·lit espacial varia en funció de la seva aplicació. Els nano satèl·lits pesen entre 1 i 10 kilograms i aproximadament la mida d'una barra de pa [1].

Tot i així, hi ha una llarga varietat de mides i masses que poden set diferenciades.

- Mini satèl·lit, 100-180 kilograms
- Micro satèl·lit, 10-100 kilograms
- Nano satèl·lit, 1-10 kilograms
- Pico satèl·lit, 0.01-1 kilograms
- Femto satèl·lit, 0.001-0.01 kilograms

A continuació, en la Fig. 2, es mostrarà una imatge on es podran apreciar els diferents tipus i mides de SmallSats:



Fig. 2 Diferents tipus de SmallSats

Després de poder veure els diferents tipus de nano satèl·lits, es mostrarà una gràfica on es veurà el nombre de satèl·lits llançats al llarg del temps:

Smallsats and All Satellites Launched, 2012 - 2018

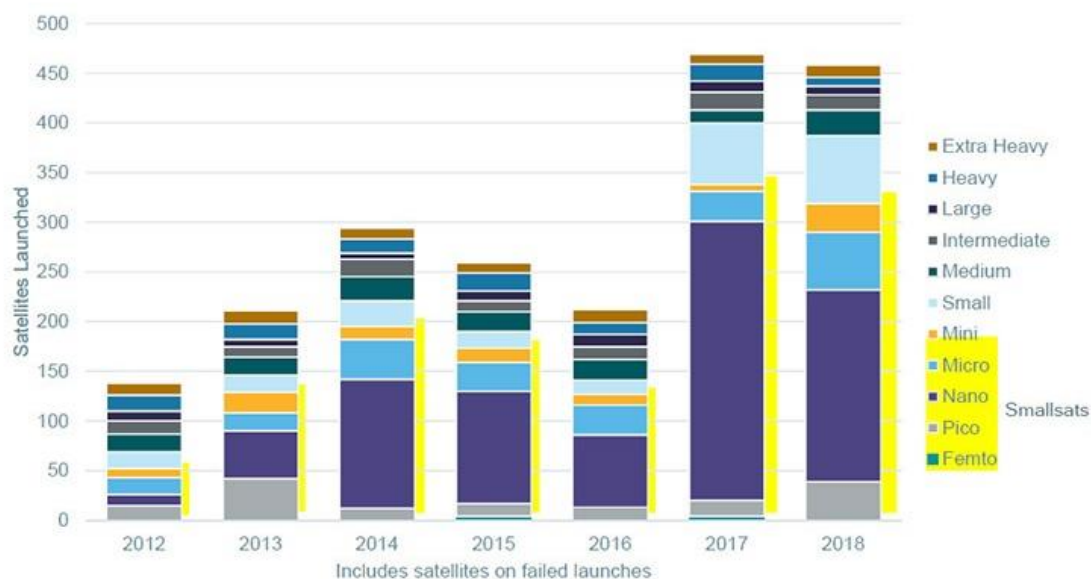


Fig. 3 Gràfica llançament SmallSats [2]

6.2 CUBESAT

Els CubeSats són satèl·lits en miniatura que s'han utilitzat exclusivament en l'òrbita terrestre baixa durant 15 anys, i ara també s'estan utilitzant per missions interplanetàries. Al principi, s'utilitzaven comunament en òrbita terrestre baixa per aplicacions com la detecció remota o les comunicacions. A mitjans del 2018, s'ha implementat un parell de CubeSats en una missió que vola a Mart, i s'estan considerant altres CubeSats per a la Lluna i Júpiter.

El disseny del Cubesat va ser proposat per primera vegada a finals de la dècada de 1990 per dos professors: Jordi Puig-Suari de la Universitat Politècnica Estatal de Califòrnia i Bob Twiggs de la Universitat de Stanford. Intentaven ajudar als estudiants a adquirir experiència en enginyeria de satèl·lits, que tradicionalment són cars de construir i de enviar a l'espai. Inspirada pels animals de peluix individualitzats, Beani Babies, l'idea de Twiggs va permetre als estudiants construir els seus propis satèl·lits en miniatura.

Els CubeSat són una classe de nano satèl·lits que utilitzen una mida i un factor de forma estàndard. La mida CubeSat estàndard utilitza "una unitat" o "1U" de 10x10x10 cm i és extensible a mides més grans; 1,5, 2, 3, 6 i fins i tot 12U, tal i com es pot observar en la Fig.4. El desenvolupament de CubeSat ha avançat cap a la seva pròpia indústria, ja que el govern, la indústria i el món acadèmic han col·laborat per obtenir capacitats cada vegada més grans. Ara, CubeSat proporciona una plataforma rendible per a investigacions científiques, demostracions de noves tecnologies i conceptes avançats de missió utilitzant constel·lacions, sistemes de conglomerats en eixams [3].

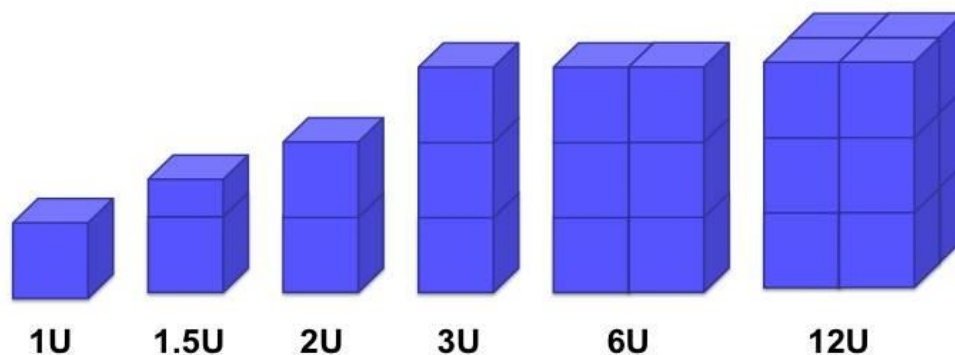


Fig. 4 Exemple mides CubeSat

Els CubeSats redueixen les costos de llançament de dues maneres fonamentals. No pesen molt, per tant un coet no necessita molt combustible per carregar-los. En la majoria de casos, també comparteixen un coet amb un satèl·lit més gran, fet que fa possible poder arribar al espai amb els de càrrega més pesada.

Malgrat això, hi ha alguns reptes de disseny amb els CubeSats. Els components electrònics són més petits, i per tant, són més sensibles a la radiació. Degut a que són petits, no poden portar grans càrregues útils amb ells. El seu baix cost també significa que, en general, estan dissenyats per durar només unes poques setmanes, mesos o anys abans d'acabar de ser operatius (i per aquells en òrbita terrestre baixa, tornar a caure en l'atmosfera).

6.2.1 Breu Història

Els primers sis CubeSats van ser llançats el Juny de 2013 des de Plesetsk, Rússia. En aquell moment, segons un article de Space.com al 2014, la tarifa vigent per al llançament de CubeSats era d'aproximadament \$ 40,000, per tant una ganga en comparació amb un satèl·lit típic.

Els CubeSats van ser possibles gràcies a la miniaturització en curs de l'electrònica, que permet que instruments com les càmeres entre en òrbita en una fracció de la mida de lo que es requeria al començament de l'era espacial a la dècada dels seixanta.

Durant la primera dècada, la majoria dels CubeSats que van volar provenien d'aplicacions universitàries o d'investigació. Només uns quants satèl·lits van ser llançats cada any; després al 2013, el nombre de llançaments va augmentar de cop en dotzenes. Va ser en aquell any que el sector comercial va començar a llançar satèl·lits, segons SpaceDaily.

Es van iniciar noves tecnologies per millorar l'ús de CubeSats, com un projecte de paracaigudes de la NASA al 2017 que podria aterrar als petits satèl·lits sense la necessitat de reforços i s'han anunciat varis projectes en el sector públic.

S'han registrat més de 2.100 CubeSats i nano satèl·lits des de mitjans de 2018, segons nanosats.eu.

6.2.2 Fora de l'òrbita terrestre

A partir de 2018, els CubeSats van començar a aventurar-se fora de l'òrbita de la Terra.

El primer llançament de prova del Sistema de Llançament Espacial de la NASA al 2019 serà el coet pioner que s'espera tregui als humans de l'òrbita baixa de la Terra per primera vegada des de la dècada dels seixanta. El llançament inicial sense tripulació inclourà fins a 13 micro satèl·lits. Les idees conceptuais inclouen la Llanterna Lunar, que reflexa la llum Solar per a observar cràters permanentment a la Lluna i la NEA Scout, que utilitzarà una vela Solar per volar al asteroide 1991VG proper a la Terra.

La NASA està considerant una missió a la lluna gelada de Europa de Júpiter als anys 2020 o 2030. Al 2014, la NASA va dir que estava considerant la possibilitat d'incloure CubeSats en la missió, que portaria a terme funcions que inclouen "reconeixement per a futurs llocs d'aterratge, camps de gravetat, camps magnètics, ciència atmosfèrica i mesures de radiació".

L'Agència Espacial Europea, conjuntament amb la NASA, van considerar prèviament una missió conjunta per a investigar l'asteroide 65803 Didymos i tractar de moure la seva lluna a través d'un impactador. Per a la part Europea, es va considerar incloure CubeSats per fer observacions complementaries. Els europeus van escollir no finançar par de la missió al 2016 però la NASA va continuar amb el desenvolupament per la seva part. El llançament ha sigut aplaçat a l'any 2020 [4].

6.3 PCB

PCB són les sigles de “Printed Circuit Board, que significa placa de circuit imprès. Una PCB és una placa prima feta de fibra de vidre, epoxi compost o algun altre material laminat. Les vies de conducció es graven o “s’imprimeixen” en la placa, connectant diferents components en la PCB, com transistors, resistències i circuits integrats.

Les PCB s'utilitzen tant en ordinadors de sobretaula com en portàtils. Serveixen de base per a molts components interns de l'ordinador, com les targetes de vídeo, targetes de control, targetes d'interfície de xarxa i targetes d'expansió. Tots aquests components es connecten a la pla base, que també és una placa de circuit imprès.

Mentre que les PCB s'associen sovint a ordinadors, s'utilitzen en molts altres dispositius electrònics [5].

A continuació es mostraran les imatges dels layouts (representació gràfica de les connexions entre components de la placa), Fig.5 i Fig.7, i els seus esquemes definitius, Fig.6 i Fig.8, enviats a manufacturar de cada una de les dues plaques.

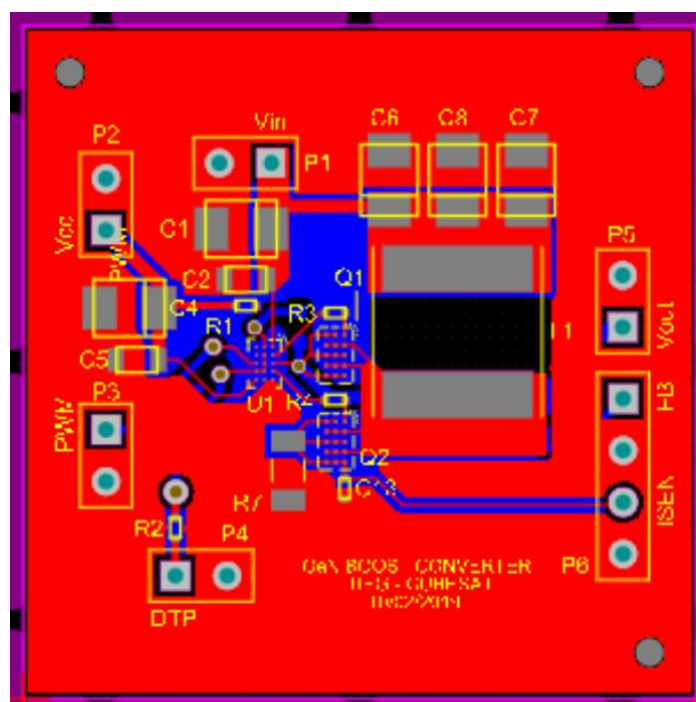


Fig. 5 Layout PCB placa GaN

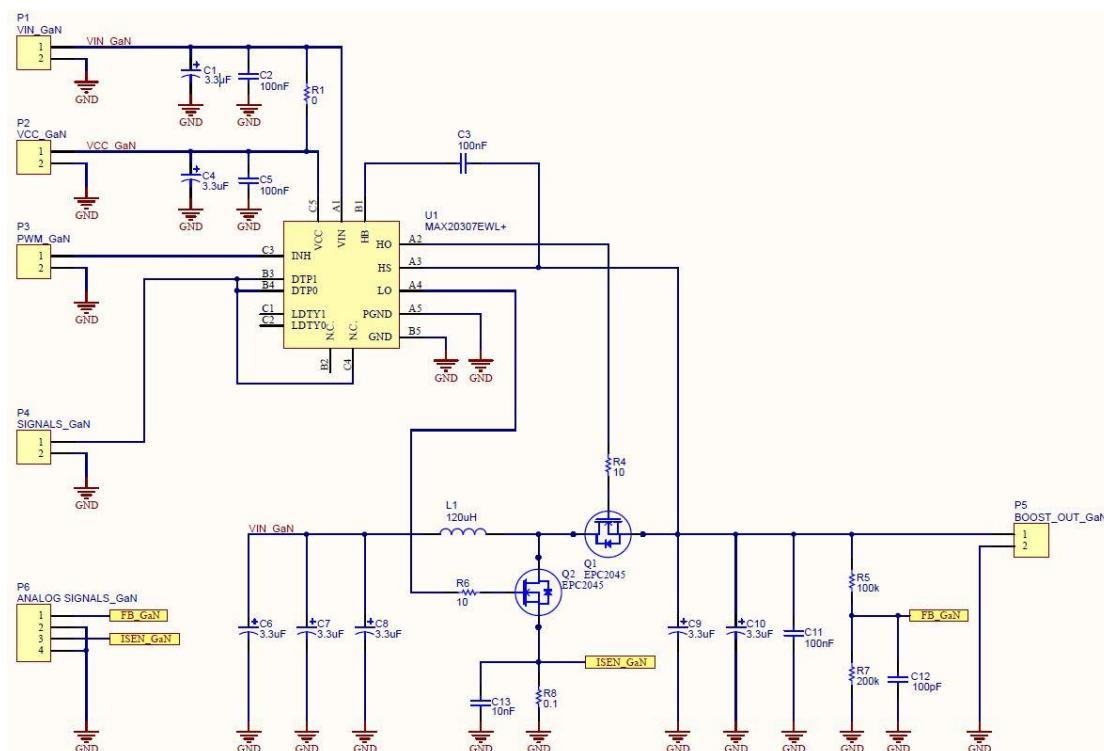
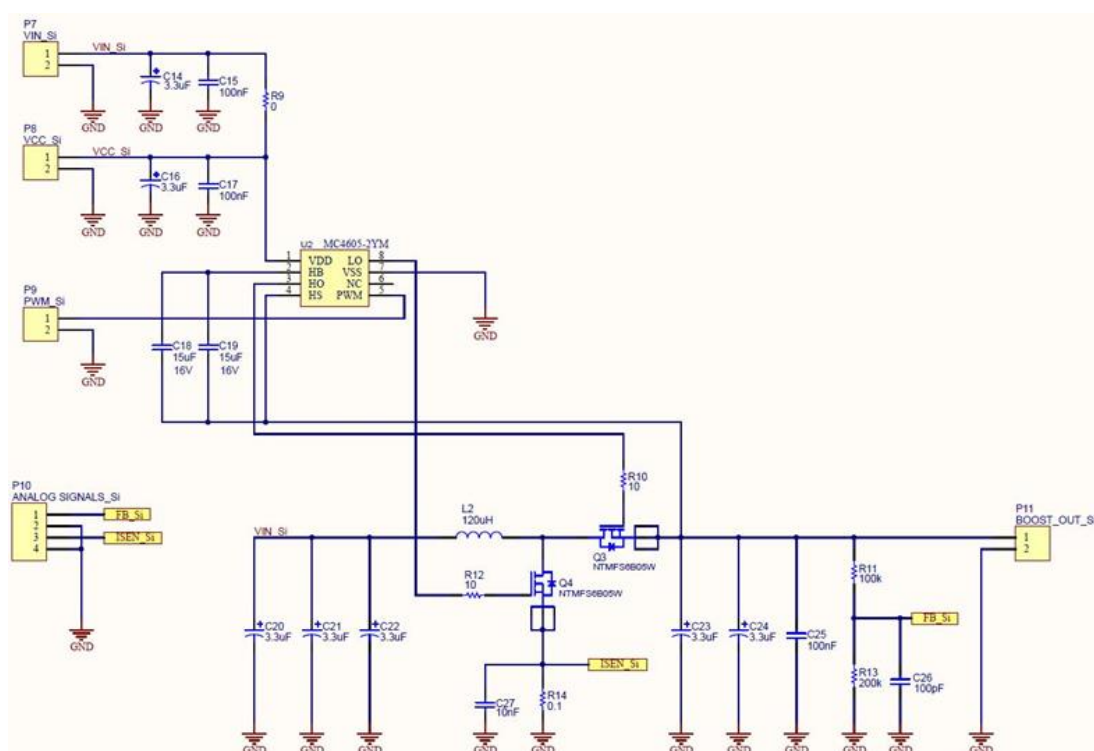
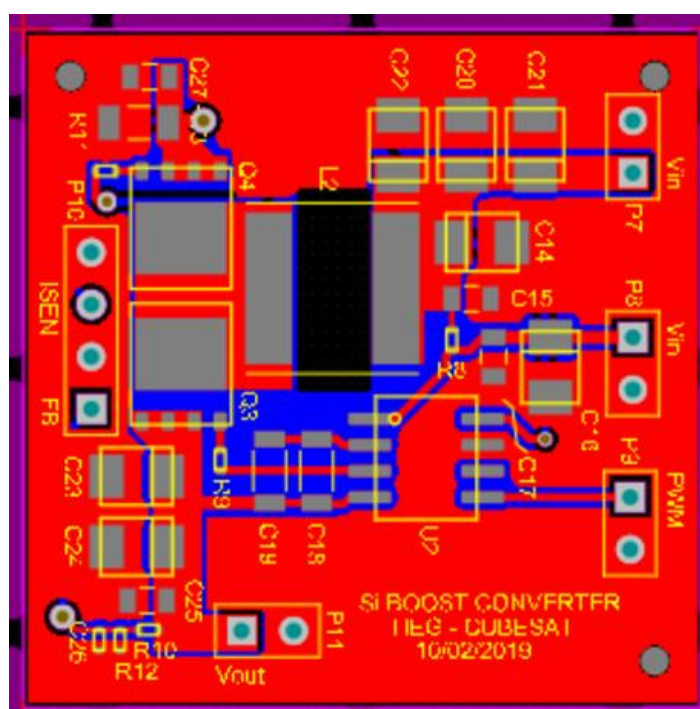


Fig. 6 Esquema placa GaN



6.4 Panells Solars

Els panells solars que s'han utilitzat per a constituir el nostre CubeSat són de la marca IXOLAR, concretament el model SLMD121H10L, mono cristal·lins de Silici.



Fig. 9 Panells solars IXOLAR model SLMD121H10L

Les seves característiques es poden veure a continuació:

- Dimensions: 45 x 32 x 2 mm
- Pes: 4.5 gr
- Eficiència: Fins a un 22%
- Voltatge en MPP: 5,01 V
- Intensitat en MPP: 44,6 mA
- Potència en MPP: 223 mW

Ja que el CubeSat, com bé ens indica el seu nom, té forma cúbica aprofitarem aquesta estructura per col·locar en 4 de les seves 6 cares els panells solar. Les dues cares restants aniran destinades a sensors, càmera...i/o a suport per a la seva manipulació.

Donat les dimensions del cub i dels panells solars, cada cara contindrà 4 panells solars connectats en sèrie entre ells. Així doncs, obtindrem un total de 20 panells solars en un mateix nano satèl·lit. La seva situació es mostra en la Fig.11.

Les cares del CubeSat estaran connectades 2 a 2 en paral·lel amb la seva cara oposada per tal de garantir la seva exposició a les radiacions solars en tot moment.

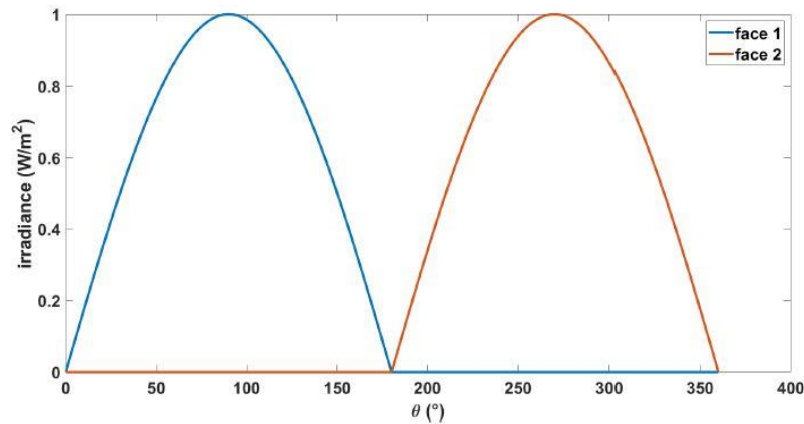


Fig. 10 Gràfica radiació solar de dues cares oposades

Com podem apreciar en la gràfica anterior, Fig.10, en blau i vermell estan representades les dues cares, una l'oposada del altra.

Així doncs, el Sol només pot il·luminar alhora una de les dues cares, mentre que l'altra romandrà completament a les fosques, tal i com es pot observar en els angles de 90° i 270°.

Aquest fet el podem aprofitar per optimitzar components, ja que només caldrà utilitzar dos convertidors (un per parell de cares) enlloc d'un per cada cara, i energia ja que al no tenir llum en totes les cares podem tenir en mode estalvi alguns dels components a les fosques.



Fig. 11 Exemple distribució panell solars

6.5 Convertidors

Els convertidors, en aquest projecte, tenen un paper fonamental en el sistema de potència del CubeSat.

La potència que entreguen els panells solars no es suficient per a poder carregar les bateries, és per això que es necessita dels convertidors per a poder elevar la tensió i corrent que entreguen els panells.

Les avantatges d'utilitzar un convertidor són que permeten un millor control de la potència, control de les tensions d'entrada i un augment en la seguretat. Tenen gran eficiència.

Per altra banda, com a inconvenients tenim que generen sorolls i harmònics. A freqüències més altes es poden simplificar el filtratge d'aquest soroll.

Dins dels convertidors, els més típic són tres: Buck, Boost i Buck-Boost.

6.5.1 Convertidor Buck

El primer de tots que explicarem a continuació és un convertidor Buck, o reductor. S'anomena reductor ja que a la sortida obtenim un valor de tensió inferior al valor de la entrada.

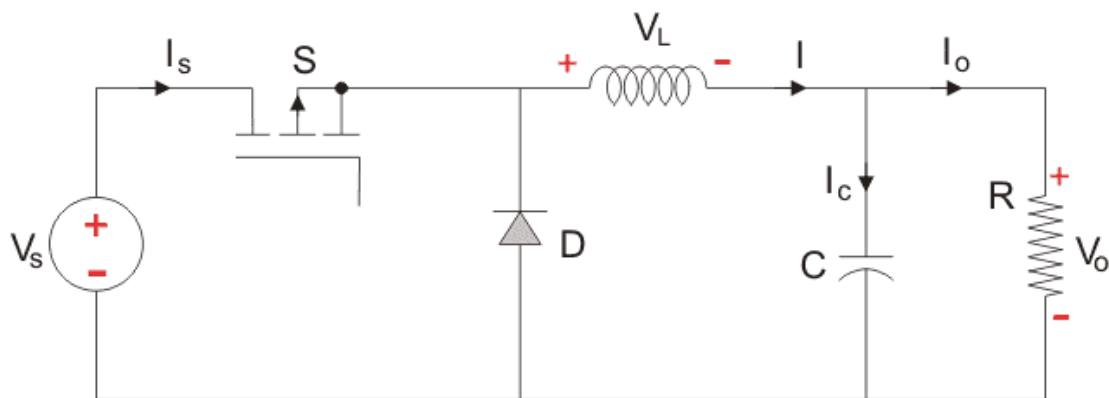


Fig. 12 Representació convertidor Buck [6]

6.5.2 Convertidor Boost

El següent que explicarem és el convertidor Boost o elevador. Si el convertidor Buck es deixa reductor perquè reduïa, el convertidor Boost es diu elevador ja que eleva la tensió de sortida respecte la d'entrada que entreguen els panells solars.

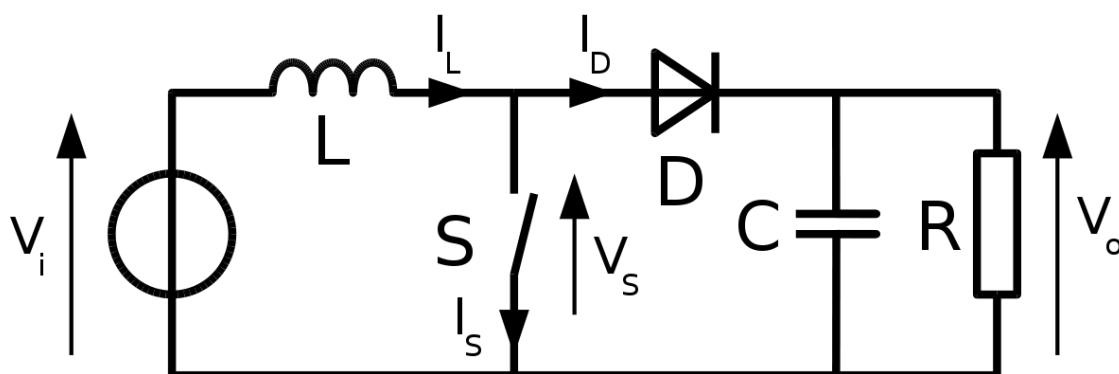


Fig. 13 Representació convertidor Boost [7]

6.5.3 Convertidor Buck-Boost

Per últim però no per això menys important explicarem el convertidor Buck-Boost, que com el seu nom indica, és una combinació entre la tipologia Buck i la Boost. Pel que fa al seu funcionament, depenent del seu cicle de treball actuarà com a reductor o com a elevador. Tot i així, també inverteix la polaritat de la senyal d'entrada.

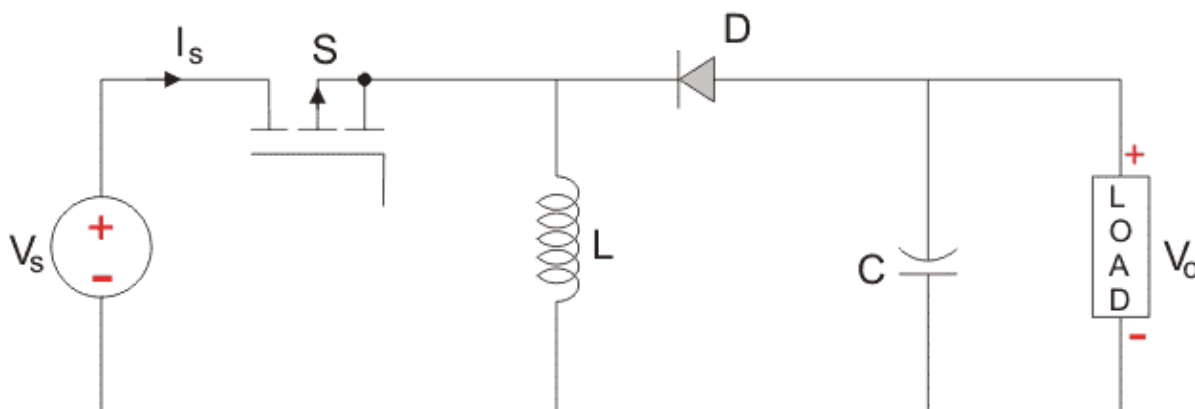


Fig. 14 Representació convertidor Buck-Boost [8]

6.6 Bateries

Un cop ja tenim la captació de l'energia i haver-la transformat amb el convertidor, només ens queda emmagatzemar-la en les bateries.

El disseny de les mateixes i la seva elaboració es va aprofitar a partir del projecte d'un antic alumne d'ERASMUS.

Les bateries estan constituïdes en un paquet de tres piles de Li-Ion LiFePO_4 de 3.2 volts per a cada una d'elles en sèrie, Fig.15, de manera que la suma total dels voltatges d'un dels paquets de bateries és de 9,6 V.

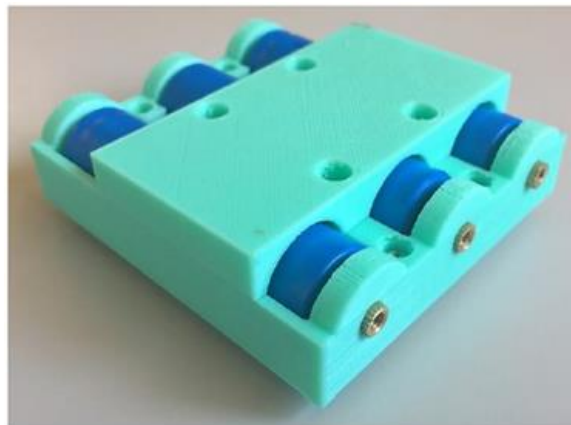


Fig. 15 Paquet de piles (Bateria)

Les tres piles estan unides únicament per un motlle creat a partir d'un model 3D. D'aquesta manera, si fos necessari realitzar qualsevol canvi en alguna d'elles es pogués fer de manera ràpida i senzilla.

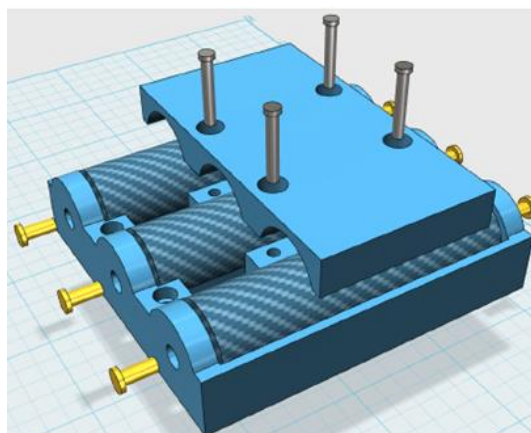


Fig. 16 Extrusió 3D de la bateria

7. PLANTEJAMENT I SELECCIÓ D'ALTERNATIVES

7.1 INTRODUCCIÓ AL MPPT

El seguiment del punt de màxima potència és un convertidor d'alta freqüència continua-continua. Agafa l'entrada de continua dels panells solars, la canvia senyal alterna d'alta freqüència, i la converteix altre cop a continua amb diferents voltatge i intensitat per fer coincidir exactament els panells solars amb les bateries. Els MPPT operen a freqüències d'àudio molt elevades, generalment en un rang de 20-80 kHz. L'avantatge dels circuits d'alta freqüència és que es poden dissenyar amb transformadors i components petits d'alta eficiència. El disseny de circuits d'alta freqüència pot ser molt complicat a causa dels problemes de "difusió" de parts del circuit. És per això que l'aïllament de soroll i la supressió són molt importants [9] .

Els algorismes MPPT són necessaris en aplicacions solars, donat que el punt de potència màxima d'un panell solar varia segons la radiació i la temperatura. Per tant, l'ús de l'algorisme MPPT és imprescindible per a poder obtenir la màxima potència dels panells.

Amb el pas dels anys, molts mètodes han sigut desenvolupats per trobar el punt de potència màxima. Aquestes tècniques es diferencien en alguns aspectes, com la complexitat, tipus de sensors, cost, rang d'efectivitat, correcte seguiment de la senyal quan la temperatura i la radiació canvien, hardware necessari per a la seva implementació, entre d'altres.

Dins de totes les tècniques existents n'hi ha dues que són les més comuns: P&O (Pertorbació i Observació) i InCond (Increment de la Conductància). Aquestes tècniques tenen l'avantatge de ser fàcils d'implementar però també tenen una sèrie d'inconvenient que es veuran més endavant. Altres tècniques basades en diferents principis són control Fuzzy Logic (Lògica Difusa), neural network (xarxa neuronal), voltatge en circuit obert, etc. Molts d'aquests mètodes donen una aproximació no gaire exacte del punt de potència màxim. En condicions normals la corba V-P només té un màxim, per tant no és problema. Tanmateix, si el panell solar es troba parcialment ombrejat, hi haurà múltiples màxims en aquesta corba. Per alleugerar aquests problemes, s'hauran de buscar diverses solucions.

7.2 COMPARACIÓ MPPT VS PWM

Els reguladors PWM (Pulse-width modulation, modulació per ample de polsos), i MPPT són dos tipus diferents de controladors de càrrega solar, utilitzats per a la gestió del corrent elèctric entre la bateria i el panell solar.

Per entendre les diferències entre un regulador PWM i un MPPT, s'haurà d'observar la típica corba de potència d'un panell solar, Fig.17. La corba de potència és important perquè reflexa la generació elèctrica del panell, emprant la combinació de voltatge (V) i intensitat (I) amb una determinada radiació solar (Estàndard STC 1000 W/m²). El punt òptim de potència on s'ajunten el voltatge i la intensitat s'anomena punt de màxima potència (MPP). Aquest punt varia en funció de la radiació solar que rep el panell.

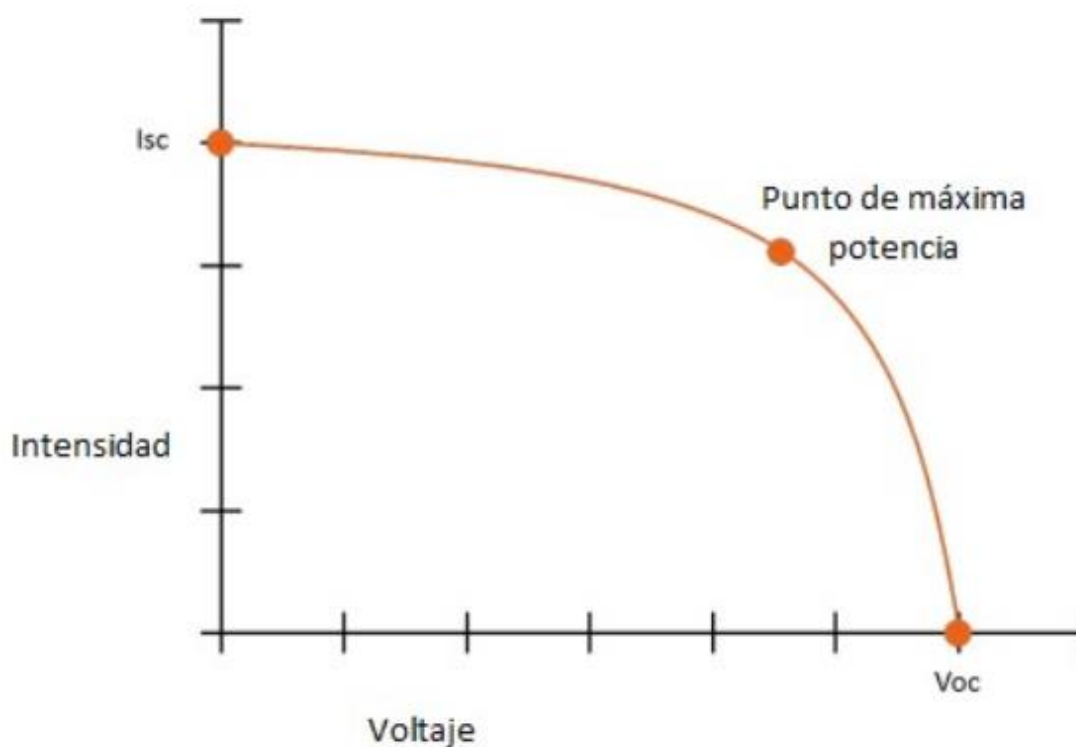


Fig. 17 Corba potència panell solar

Durant la càrrega, un regulador PWM deixa passar el corrent del panell solar a la bateria fins que comença a estar carregada del tot. Els reguladors PWM operen sense tenir en compte el MPP i, per tant, poden estar per sobre o per sota d'aquest (depenent de la radiació que el panell rebí), com es pot observar en la Fig.18.

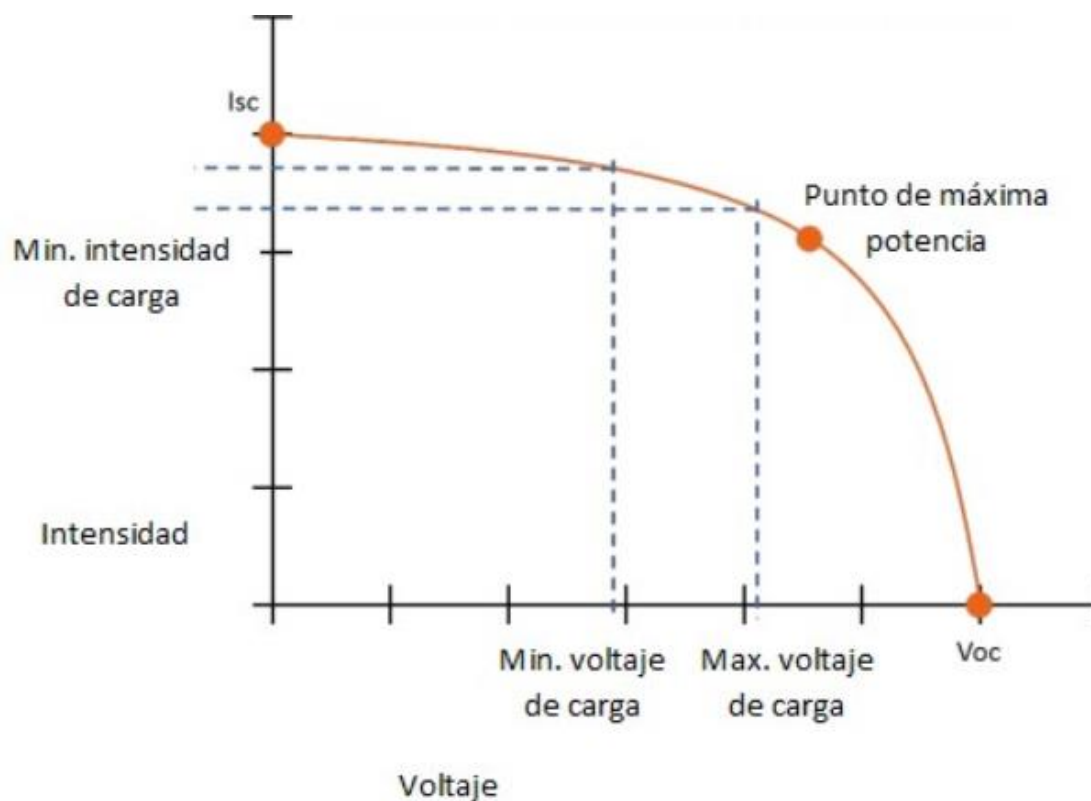


Fig. 18 Corba potència panell solar amb regulador PWM

Els reguladors MPPT utilitzen un connexió indirecta entre el panell solar i la bateria. Aquesta connexió indirecta, està formada per un convertidor de voltatge (CC/CC), que transforma el voltatge del panell al millor voltatge per a la bateria, en funció de la càrrega que tingui sense perdre potència pel camí.

Per poder treure el màxim rendiment al panell solar, els reguladors MPPT utilitzen un algorisme de seguiment que rastreja en tot moment el punt de màxima potència del panell [10].

7.3 DIFERENTS TIPUS D'ALGORISME MPPT

7.3.1 Pertorbació i Observació

L'algorisme P&O és també anomenat "Hill-climbing", però ambdós noms fan referència al mateix algorisme depenent de com són implementats. Hill-climbing implica una pertorbació en el cicle de treball del convertidor de potència i P&O una pertorbació en el voltatge de continua entre el panell solar i el convertidor. En el cas del Hill-climbing, pertorbant el cicle de treball del convertidor implica modificar el voltatge de continua entre el panell solar i el convertidor, és per això que ambdós noms fan referència a la mateixa tècnica.

En aquest mètode, el senyal de l'última pertorbació i el senyal de l'últim increment en la potència són emprats per decidir quina haurà de ser la següent pertorbació. Com es pot veure en la Fig.20, a l'esquerra del punt de potència màxima si augmentem el voltatge augmenta la potència. Pel contrari a la dreta si disminuïm el voltatge augmentem la potència.

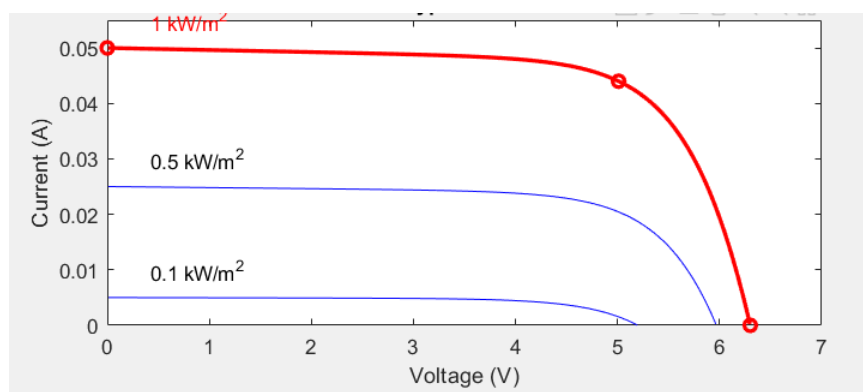


Fig. 19 Gràfica P&O Voltatge-Corrent

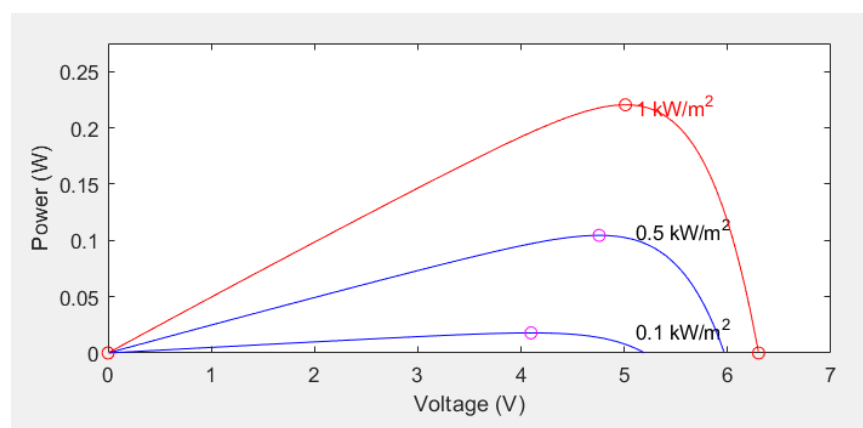


Fig. 20 Gràfica Voltatge-Potència

Si hi ha un increment de la potència, la pertorbació s'hauria de quedar en la mateixa direcció i si la potència disminueix, llavors la següent pertorbació hauria de ser en la direcció contrària. El procés es repeteix fins que el punt de potència màxima és trobat. Ara el punt d'operació oscil·larà al voltant del punt de màxima potència. Aquest problema també es produeix en el mètode del Increment de la Inductància [11].

A continuació, en la Fig.21, es mostrarà l'esquema de funcionament de l'algorisme P&O.

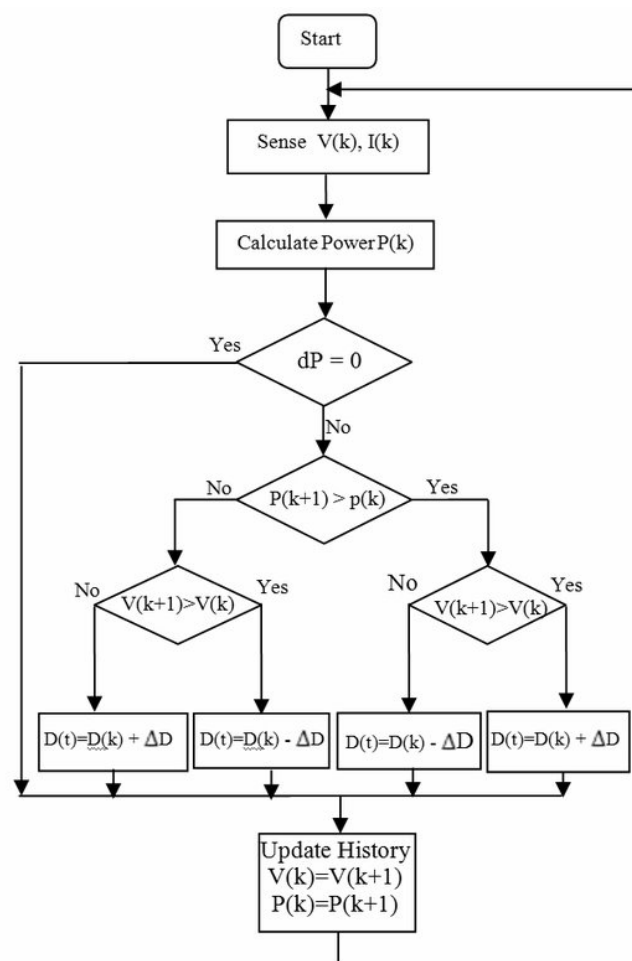


Fig. 21 Diagrama de flux mètode P&O [12]

7.3.2 Increment de la conductància

L'algorisme d'increment de la conductància està basat en que el pendent de la corba potència-voltatge del panell solar és zero en el punt de màxima potència, positiu a l'esquerre i negatiu a la dreta d'aquest.

Comparant l'increment de potència respecte l'increment de voltatge entre dos mostres consecutives, es pot determinar el canvi del voltatge en el punt de màxima potència.

A continuació, en la Fig.22, es mostrarà l'esquema de funcionament de l'algorisme InCond.

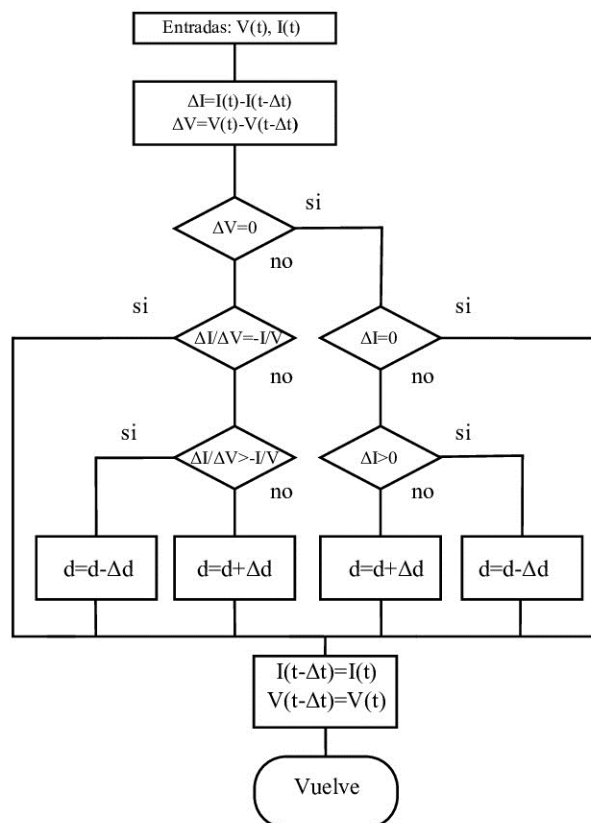


Fig. 22 Diagrama de flux mètode InCond [13]

En els dos diagrames, tant del P&O com del InCond, la rapidesa amb la que el punt de màxima potencia és trobat depèn de la mida del increment del voltatge de referència.

Els inconvenients d'aquestes tècniques són principalment dos. El primer i més important és la facilitat amb la que els dos mètodes poden perdre el seguiment de la senyal si la radiació canvia ràpidament. En cas que canviï pas a pas, el seguiment és bo ja que el canvi és instantani i la corba no està canviant contínuament. Malgrat això, quan els canvis en la radiació segueixen una pendent, la corba en la que els algorismes estan basats canvia constantment amb la radiació de manera que els canvis en la tensió i el corrent no són només a causa de la pertorbació de la tensió. Com a conseqüència d'aquest fet, no és possible per als algorismes determinar si el canvi en la potència és degut al increment de la seva pròpia tensió o pel canvi en la radiació.

L'altre handicap dels dos mètodes són les oscil·lacions del voltatge i el corrent al voltant del punt de potència màxima en estat estacionari. Això és provocat pel fet que el control és discret i el voltatge i corrent no estan constantment en el punt màxim de potència però oscil·len al seu voltant. La mida de les oscil·lacions depèn de quant de gran sigui la velocitat del canvi de la tensió de referència. Com més gran és, més gran és l'amplitud de les oscil·lacions. No obstant això, la rapidesa amb què arriba al punt de potència màxima també depèn de la taxa de canvi i aquesta dependència és inversament proporcional a la mida dels increments de la tensió. La solució més comuna és una compensació: si l'increment és petit de manera que les oscil·lacions disminueixen, llavors el punt de potència màxima s'assoleix lentament i a la inversa, de manera que s'ha de trobar una solució.

7.3.3 Control Lògica Difusa

L'ús del control per lògica difusa esdevé popular ja que no necessita un model matemàtic acurat i pot gestionar les no linealitats. Els microcontroladors també han ajudat a popularitzar aquest mètode.

El mètode del control per lògica difusa consisteix en tres etapes. La primera compren el procés de transformar entrades numèriques a variables lingüístiques basades en el grau d'adhesió a determinats conjunts. Les funcions afiliades, s'utilitzen per associar una nota a cadascun dels termes lingüístics. El nombre de funcions utilitzades depèn de la precisió del controlador, però normalment varia entre 5 i 7.

A continuació, en la Fig.23, es mostrarà l'esquema de funcionament de l'algorisme Fuzzy Logic Control.

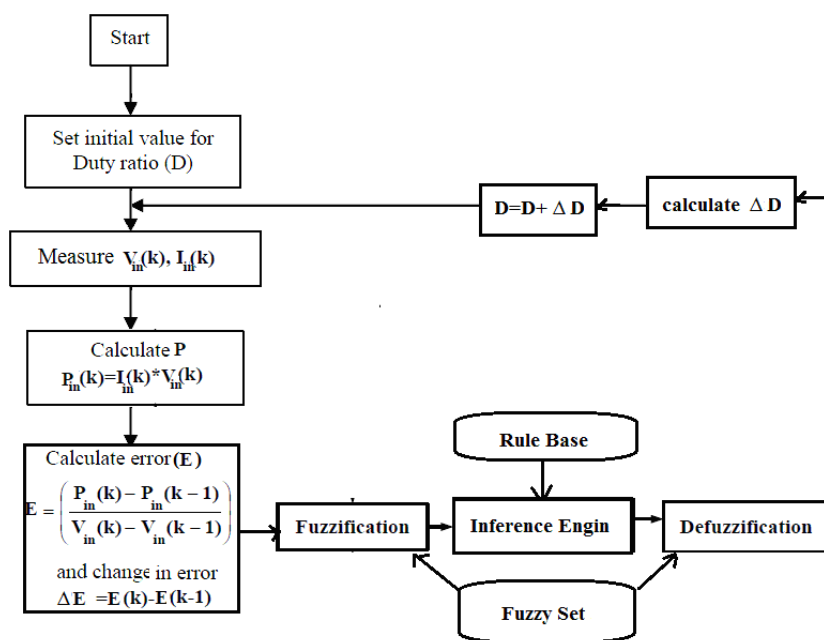


Fig. 23 Diagrama flux Fuzzy Logic Control [14]

Les entrades del control per lògica difusa són normalment un error, E , i el canvi en aquest error, ΔE . L'error pot ser triat pel dissenyador, però normalment és triat pel terme $\Delta P/\Delta V$ donat que és zero al punt de potència màxima.

$$E = \frac{P(k) - P(k-1)}{V(k) - V(k-1)}$$

$$\Delta E = E(k) - E(k-1)$$

La sortida del convertidor de control per lògica difusa és normalment un canvi en el cicle de treball del convertidor de potència, ΔD , o un canvi en el voltatge de referència, ΔV .

En l'última etapa del control per lògica difusa la sortida és convertida de variable lingüística a entrada numèrica altre cop mitjançant les funcions afiliades. Hi ha diferents mètodes per transformar les variables lingüístiques a numèriques. El més popular de tots és el mètode de centre de gravetat. Tanmateix, l'anàlisi d'aquest mètode va més enllà de l'abast d'aquest projecte.

Els avantatges d'aquest controladors a més de poder gestionar entrades imprecises, no necessiten d'un model matemàtic molt acurat i permeten gestionar les no linealitats, són de convergència ràpida i amb oscil·lacions mínimes al voltant del punt de potència màxima. A més, s'ha demostrat que funcionen bé en els canvis constants de la radiació. No obstant això, no s'ha trobat cap evidència que funcioni bé sota rampes d'irradiació. Un altre inconvenient és que la seva efectivitat depèn molt de les habilitats del dissenyador; no només en la elecció adequada del càlculs d'errors sinó també en com realitzar el seu muntatge.

8. DESENVOLUPAMENT DE LA SOLUCIÓ PROPOSADA

8.1 Programació Arduino

La informació que fa referència a la programació del Arduino i de la BluePill es podrà trobar en el arxiu en PDF adjunt a aquest projecte anomenat *ANNEX*. En aquest arxiu es trobarà un manual d'usuari amb els passos a seguir tant per instal·lar una màquina virtual o com per programar l'entorn d'Arduino.

8.2 Complicacions programació

A continuació es procedirà a explicar totes les complicacions, dificultats i demés controvèrsies sorgides durant la realització d'aquest projecte.

Primerament, alhora d'acotar el projecte. Va ser difícil ja que es veien moltes possibilitats i propostes a poder realitzar. D'entre tots els projectes que anaven sorgint, en un inici, es va decidir realitzar "Design of the Attitude Control System of a Cubesat Educational kit". Es tractava del disseny del sistema de control d'altitud per a un kit educacional de CubeSat.

Mentre s'anava realitzant la cerca d'informació de com fer el control i anaven passant els mesos, es va descobrir que el control d'altitud seria un projecte massa complex i llarg. És per això que es va decidir realitzar un canvi de títol. El títol final, i al que pertany aquest projecte és "Study of a MPPT (maximum Power Point Tracking) for Spacecraft Applications".

Ara s'exposarà la problemàtica que ha hagut tant amb el software com amb el hardware. Després d'investigar i parlar amb els professors, es va decidir utilitzar la "BluePill", gracies a les seves avantatges alhora de programar i la velocitat del seu "clock".

El professor Manel Lamich va advertir que la millor manera de programar Arduino seria mitjançant el SO "Linux" ja que les últimes versions per a "Windows" donaven molts problemes, però ja que no es disposava d'aquest programari en els ordinadors personals, es va decidir provar de programar-ho en "Windows". Tal i com va advertir en Manel, va ser impossible programar-ho i es va haver d'instal·lar una màquina virtual als ordinadors amb "Linux". Es va instal·lar sense

cap problema, es va poder instal·lar Arduino també però, faltaven els drivers de la “BluePill”, a part dels drivers del adaptador “ST-LINK V2”.

Els drivers eren existents per a “Windows” però no per a Linux. És en aquest punt quan es comença a fer recerca dels drivers i com instal·lar-los.

Van consultar-se multitud de “blogs”, “foros” i sortien moltes maneres de com realitzar dita instal·lació però cap de elles era la correcta ja que no havia manera de que es reconegués la targeta. Després de setmanes de cerca, el professor Lamich va trobar una solució i es va poder compilar i executar tot amb èxit.

En aquest moment, es va decidir fer una petita guia per si tornaven a sorgir problemes o es necessitava fer una instal·lació similar a la que es va realitzar per aquest projecte. Aquesta guia es pot trobar adjunta en PDF en l'arxiu *ANNEX*.

Després de fer les proves pertinents amb les codis realitzats prèviament, el següent pas és crear un codi d'obtenció de dades per a que el microcontrolador pogués llegir dades analògiques de voltatge.

Aquí va ser quan es va veure que la màquina virtual no deixava connectar el port desitjat i no feia la comunicació esperada amb la “BluePill”. Es va haver de configurar de manera que un port llegís dades de la font d'alimentació i un altre comunicués el microcontrolador amb l'ordinador.

8.3 Complicacions Disseny

Donat que ha hagut complicacions alhora de dissenyar les plaques, no han arribat a temps per a poder realitzar aquest projecte. És per això que amb el director del projecte, David González, es va acordar realitzar una sèrie de simulacions per tal de poder obtenir uns resultats previs i, en quan les plaques arribin, poder tenir resultats amb els que comparar.

Aquesta simulació es desenvoluparà i s'explicarà amb detall en el següent apartat.

9. SIMULACIÓ

Com s'ha dit anteriorment, es procedeix a realitzar una simulació de tal manera que podrem obtenir una aproximació del comportament de les plaques i de com el MPPT ha de funcionar per a poder aplicar-ho al model real.

El model proposat aquí ha sigut desenvolupat en "MATLAB/Simulink" i consisteix en un model de panells solars, conjunt de resistència-condensador (C1) i una font de corrent controlada, la qual substitueix el convertidor. El bloc de control MPPT genera un voltatge de referència utilitzant un algorisme MPPT.

9.1 Disseny simulat

A continuació, com es pot apreciar en la Fig.24, podem veure els elements que conformen la simulació.

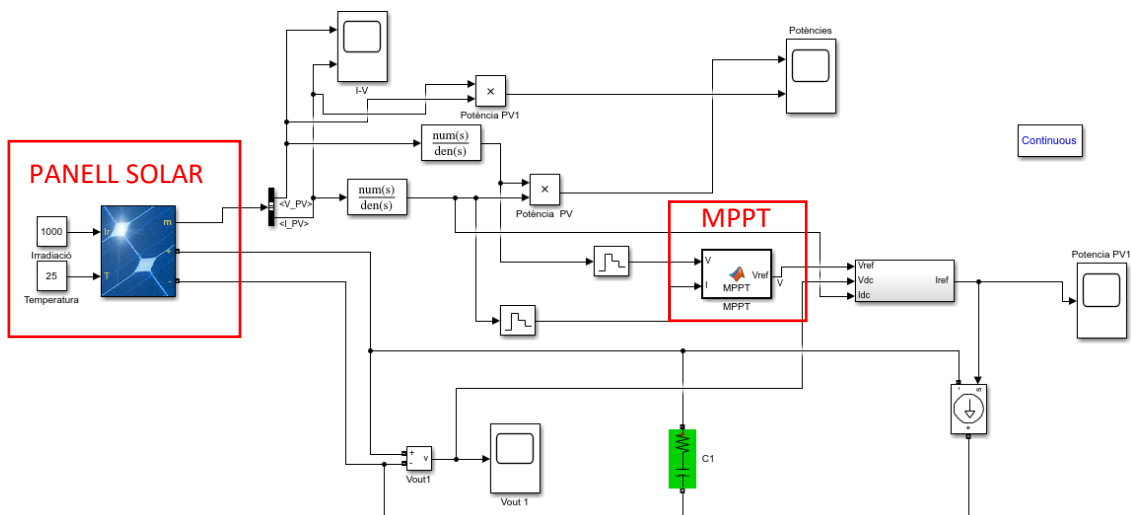


Fig. 24 Simulació Panells Solars i MPPT en SIMULINK

Per a simular el comportament dels panells solars es configuren les característiques del panell tal i com es mostra en la Fig.25. Després només caldrà donar valors de radiació i temperatura i ja estarà en marxa aportant al circuit un corrent i voltatges determinats.

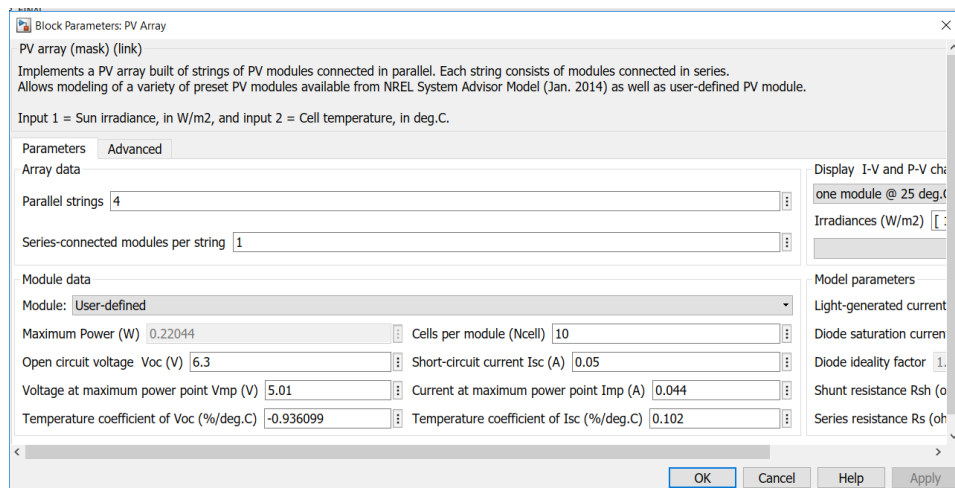


Fig. 25 Finestra configuració Panells Solars

Els paràmetres del sistema utilitzats en les simulacions són els següents:

Característiques del panell solar:

- Open circuit voltage: 6.3 V
- Voltage at MPP: 5.01 V
- Short circuit current: 50 mA
- Current at MPP: 44mA

C1 (Resistencia-Condensador):

- Capacitance: 10 μ F
- ESR: 100 m Ω

Un cop es tinguin els panells configurats i donats els valors de temperatura i radiació, els panells subministraran un corrent i un voltatge. Dita corrent i voltatge els processarem a través del MPPT per tal de poder optimitzar la càrrega de les bateries.

El codi del MPPT es pot veure a continuació:

```
function Vref = MPPT(V, I)

Vrefinit = 1; %Initial value for D output
Vrefmax = 6; %Maximum value for D
Vrefmin = 0; %Minimum value for D
deltaV = 0.01; %Increment value used to
increase/decrease the reference voltage

persistent Vold Pold Vrefold;

dataType = 'double';

if isempty(Vold)
    Vold=0;
    Pold=0;
    Vrefold=Vrefinit;
end
P= V*I;
dV= V - Vold;
dP= P - Pold;

    if dP < 0
        if dV > 0
            Vref = Vrefold - deltaV;
        else
            Vref = Vrefold + deltaV;
        end
    else
        if dV > 0
            Vref = Vrefold + deltaV;
        else
            Vref = Vrefold - deltaV;
        end
    end

if Vref >= Vrefmax | Vref<= Vrefmin
    Vref=Vrefold;
end

Vrefold=Vref;
Vold=V;
Pold=P;
```

9.2 Resultat de les simulacions

Per tal de poder elaborar unes bones conclusions sobre l'algorisme i veure el seu funcionament, a continuació realitzarem una serie de simulacions, variant la irradiació d'entrada dels panells solars i podrem observar quins són els resultats obtinguts.

❖ Irradiació = 100 W/m^2

Amb una irradiació de 100 W/m^2 trobem que el voltatge que ens entreguen les plaques es prou decent, Fig.26.

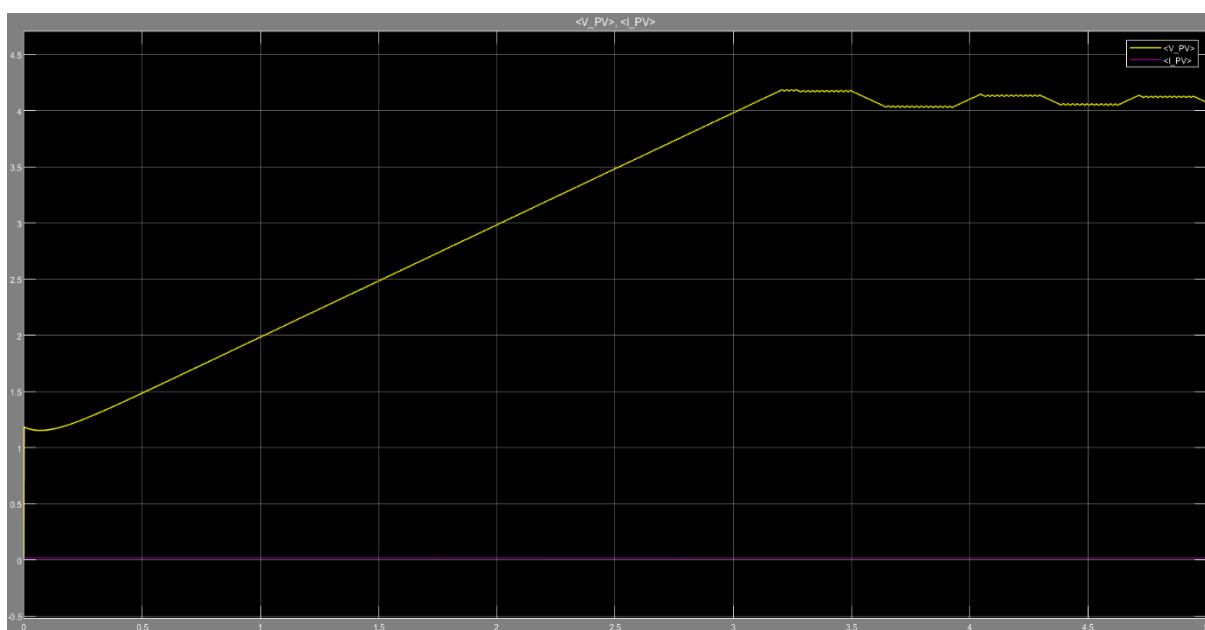


Fig. 26 Valors de corrent i voltatge mòdul PV a 100 W/m^2

Per altra banda, podem observar que el corrent que entreguen els panells solars no acaba de ser suficient ja que és molt baix, Fig.27. També es veu que hi ha moltes oscil·lacions en l'obtenció del corrent.

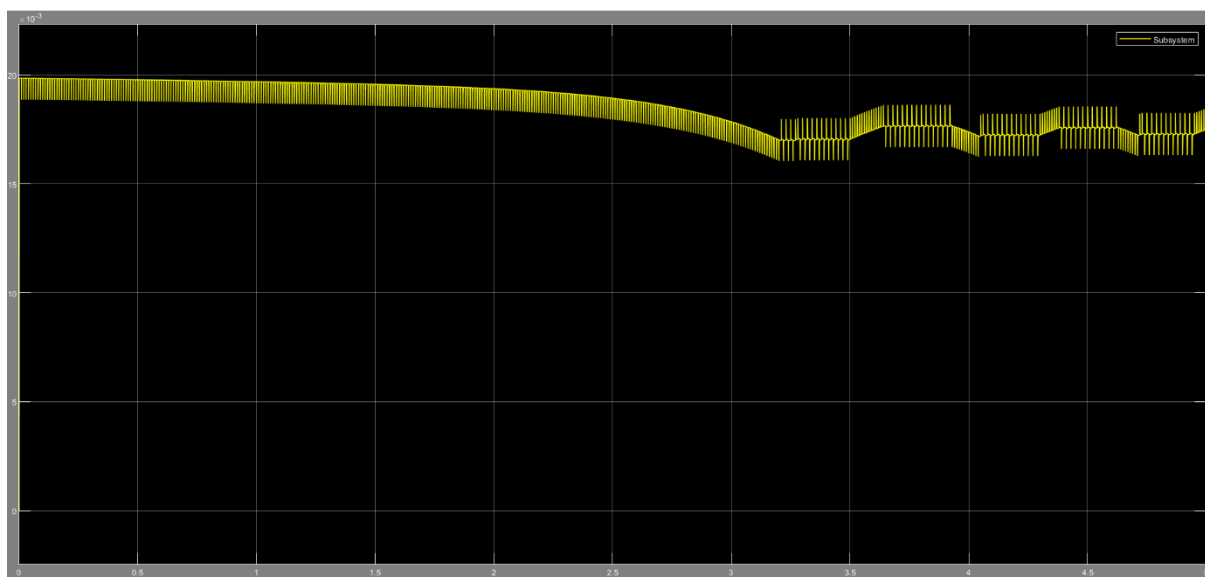


Fig. 27 Gràfica potència mòdul PV a 100 W/m^2

Finalment, a l'hora d'obtenir la potència i degut al baix valor del corrent, ens dóna un valor baix de potència també. Pel que respecta al MPPT, observem que fa la seva funció ja que segueix la potencia de les plaques amb molta cura, Fig.28.

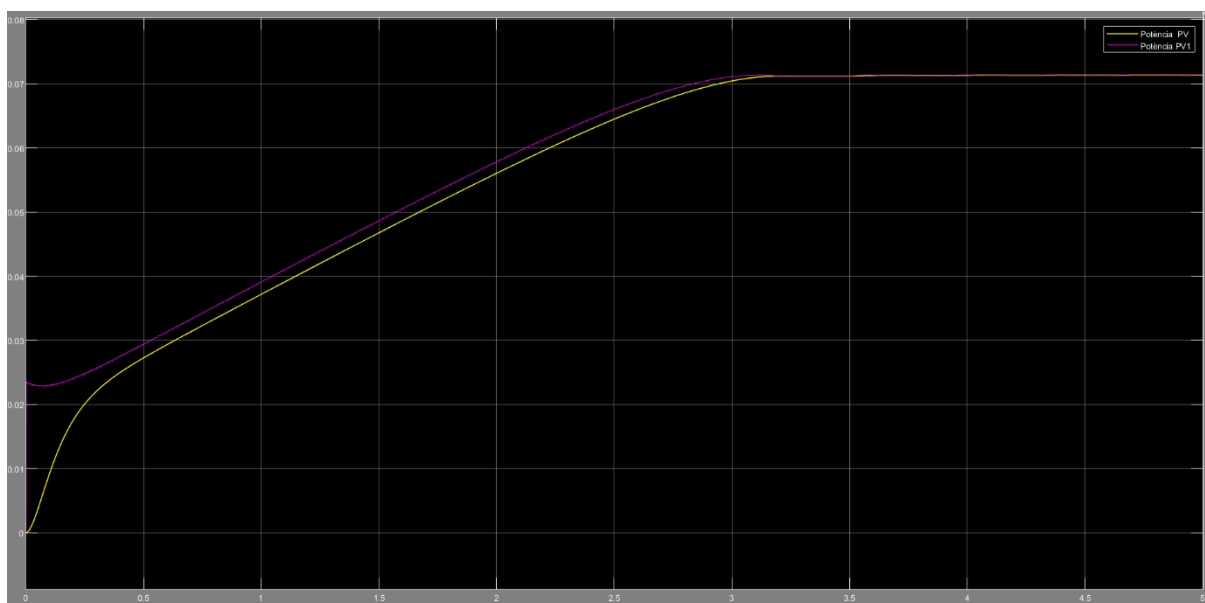


Fig. 28 Gràfica comparació potències a 100 W/m^2

❖ Irradiació = 500 W/m^2

Amb una irradiació de 500 W/m^2 , el valor de la tensió subministrada per les plaques és gairebé el valor en el seu MPP, Fig.29.

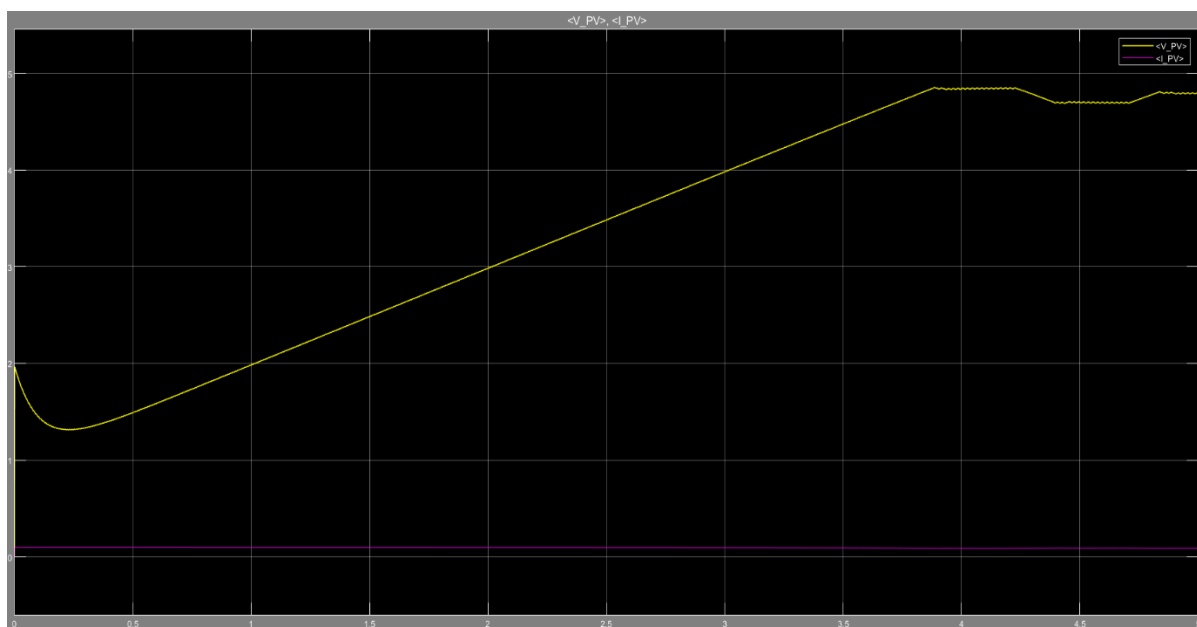


Fig. 29 Valors de corrent i voltatge mòdul PV a 500 W/m^2

Pel que fa al corrent, ha millorat considerablement respecte a una irradiació de 100 W/m^2 però encara no arriba a ser el desitjat, Fig.30.

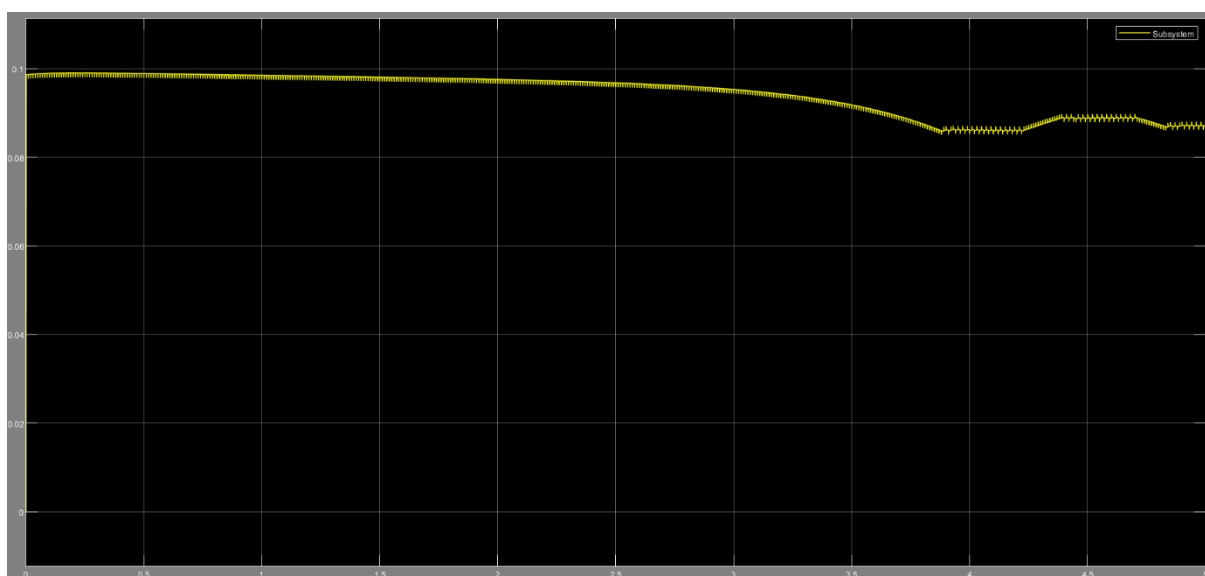


Fig. 30 Gràfica potència mòdul PV a 500 W/m^2

En quant a les potències, els seu valor ha millorat degut a la pujada substancial del corrent inicial però encara li falta per arribar al MPP, Fig.31.

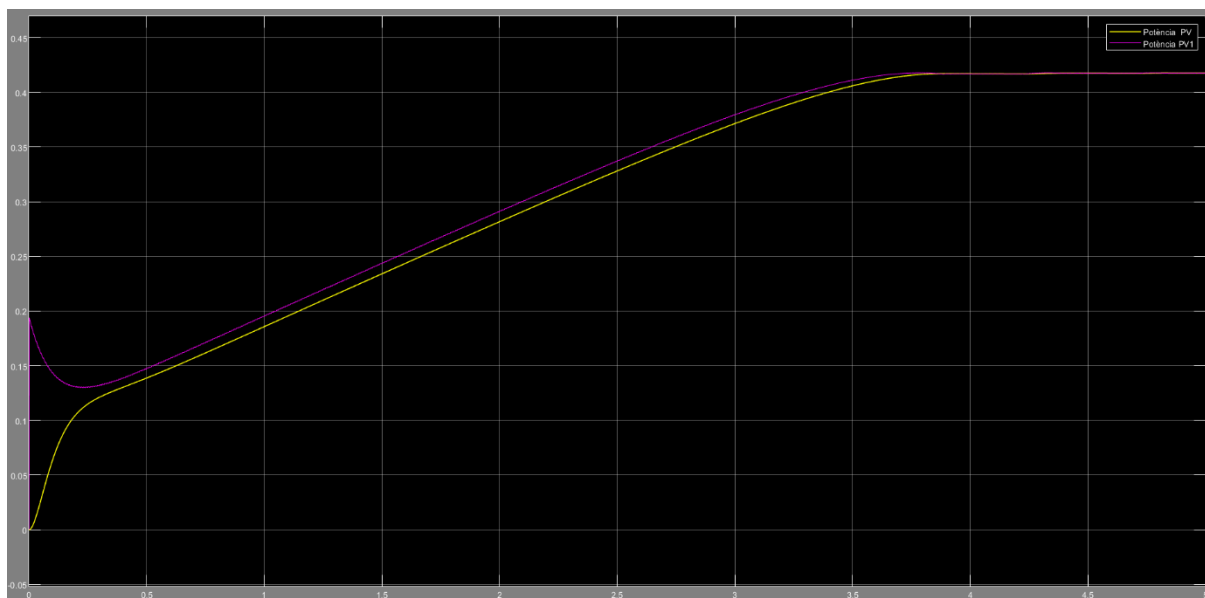


Fig. 31 Gràfica comparació potències a 500 W/m^2

❖ Irradiació = 1000 W/m^2

Amb 1000 W/m^2 si que s'assoleix el valor de tensió en el MPP, Fig.32.

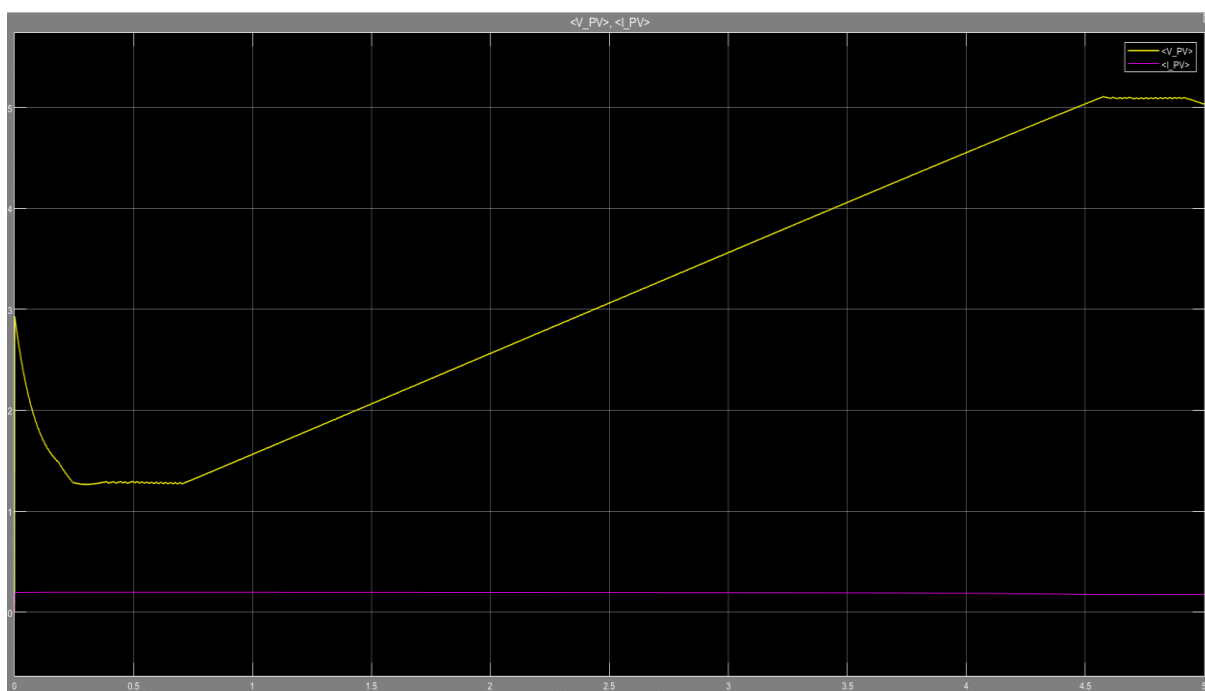


Fig. 32 Valors de corrent i voltatge mòdul PV a 1000 W/m^2

El corrent ja té el seu valor òptim i es pot observar com es manté gairebé constant en tot moment, Fig.33.

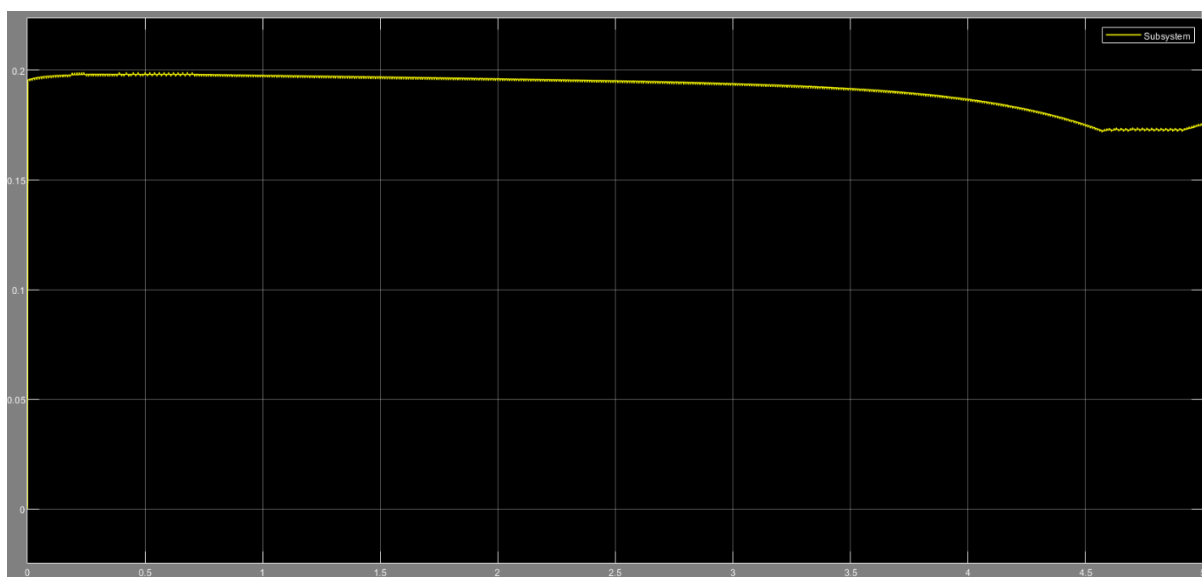


Fig. 33 Gràfica potència mòdul PV a 1000 W/m²

Finalment, en relació a les potències, s'observa com arriba al valor desitjat i com en tot moment el MPPT fa un seguiment de la potència gairebé perfecte, Fig.34.

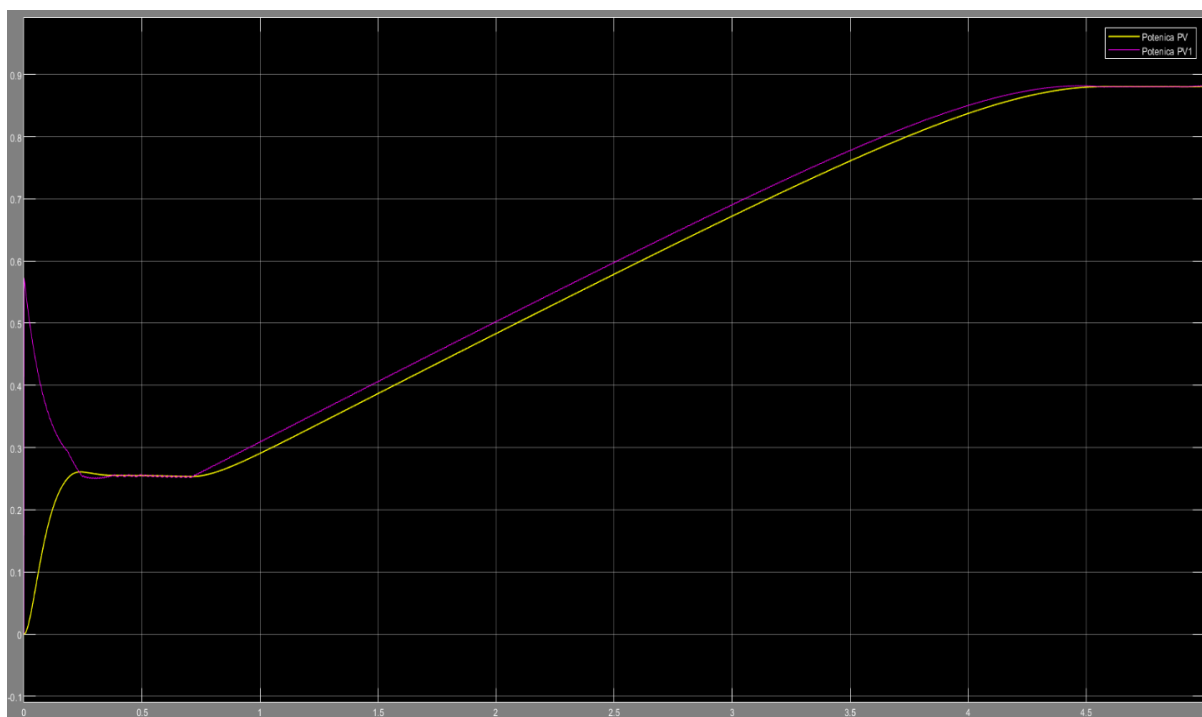


Fig. 34 Gràfica comparació potències a 1000 W/m²

9.3 Conclusions dels resultats obtinguts

Finalment, després de calibrar i configurar els panells i la simulació, obtenim unes potències similars, fet que ens indica que la simulació ha estat un èxit ja que el MPPT treballa com s'espera i fa el seguiment correctament.

Aquesta simulació ens serveix de punt de partida per veure on s'han d'aplicar les millores i poder anar directes en aquells punts on el nostre disseny falla o aquells punts que es podrien millorar.

Pel que respecta a les simulacions obtingues, s'observa que si la irradiació és baixa, els panells solars no acaben de subministrar el corrent necessari per arribar al seu MPP, la senyal es oscil·lant i dèbil. En canvi, amb una bona irradiació, s'assoleix el valor de MPP en corrent, voltatge i potència, fet que permetrà una bona càrrega de les bateries.

10. PLANIFICACIÓ I PRESSUPOST

10.1 Diagrama de Gantt

Al inici del projecte es va dissenyar un programa amb la planificació esperada per a la realització del projecte sencer dividit per dates:

| Activitats | Data inici | Duració (dies) | Data final |
|--|------------|----------------|------------|
| Reunió Inicial i definició del projecte | 13-feb | 1 | 13-feb |
| Recollida de informació | 14-feb | 14 | 28-feb |
| Posta en comú de la informació | 28-feb | 1 | 28-feb |
| Començament Project Charter | 01-mar | 14 | 15-mar |
| Primers esquemes i dissenys | 16-mar | 7 | 22-mar |
| Discussió i selecció de propostes | 23-mar | 14 | 05-abr |
| Lliurament Project Charter | 22-mar | 1 | 22-mar |
| Primer seguiment | 29-mar | 1 | 29-mar |
| Configuració del software | 07-abr | 9 | 16-abr |
| Busca i compra dels components per la PCB | 07-abr | 7 | 14-abr |
| Implementació del disseny a PCB | 15-abr | 7 | 22-abr |
| Assajos del projecte | 23-abr | 7 | 30-abr |
| Segon seguiment | 26-abr | 1 | 26-abr |
| Elaboració de resultats i conclusions dels assajos | 01-may | 14 | 15-may |
| Finalització de la memòria | 16-may | 21 | 07-jun |
| Tercer seguiment | 17-may | 1 | 17-may |
| Lliurament final | 10-jun | 1 | 10-jun |

Fig. 35 Activitats i dates de la planificació del projecte

El recull de les activitats anteriors, organitzades per data i duració, confeccionen un diagrama de Gantt que es el que es mostrarà a continuació:

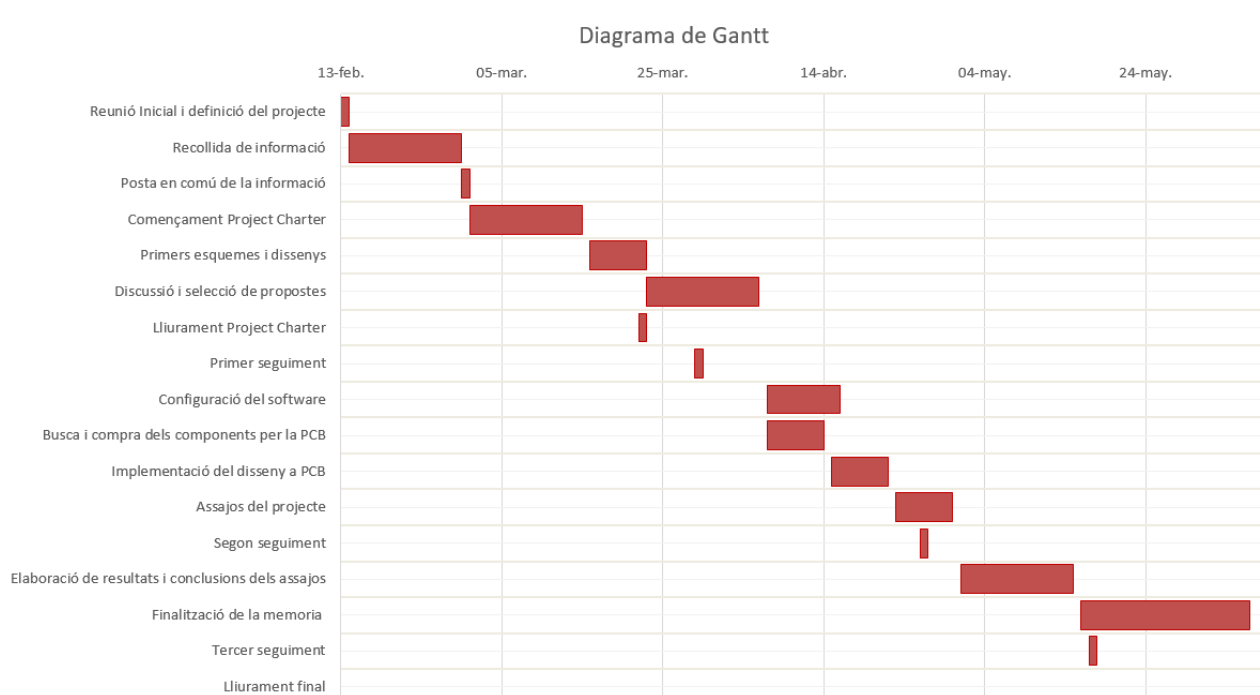


Fig. 36 Diagrama de Gantt

Degut a tota la problemàtica sorgida, esmenada amb anterioritat, no es van poder complir les tasques dins les dates fixades, retardant les diferents activitats i creant un coll d'ampolla entre algunes d'elles.

Tot això, també va comportar uns canvis d'última hora pel que respecte a la durada de les activitats i les seves dates d'entrega programades.

10.2 Pressupost

Pel que respecta al pressupost d'aquest projecte es pot trobar en un PDF adjunt anomenat *BUDGET*.

11. CONCLUSIONS FINALS

Després de tot l'estudi sobre els diferents mètodes de MPPT, la simulació del comportament del panell solar i com el MPPT fa el seu seguiment podem treure-hi unes conclusions finals.

El model de MPPT compleix satisfactòriament el procés indicat. A nivell de funcionalitat, hi ha algunes millores a fer pel que respecta els increments i decrements alhora de calcular on de la corba es troba per a fer el seguiment del senyal.

Fent referència als panells solars, subministren el corrent idoni i per tant s'ha pogut veure que el seu comportament era l'esperat teòricament i amb les plaques es podrà corroborar dit comportament.

A nivell personal pel que respecta al projecte, he millorat els meus coneixements sobre Electrònica de Potència, programació de l'entorn Arduino i màquines virtuals, he après a realitzar complexes simulacions amb el MATLAB, he adquirit coneixements sobre interpretar resultats esperats a través de les simulacions i he pogut aplicar la meva experiència en la redacció de l'annex/manual d'usuari.

Content de poder estar en contacte amb professionals docents com Manel Lamich, Javier Gago o David González, s'agraeix per tots els coneixements que tenen per transmetre i tot el que han pogut ensenyar setmana rere setmana al laboratori.

12. TREBALLS FUTURS

De cara a una possible millora de l'obtenció del voltatge i corrent de les plaques i de la càrrega de les bateries, es podria aplicar un altre mètode de MPPT, com el de increment de la conductància o el fuzzy logic control. D'aquesta manera es podria comparar quin d'ells fa un millor seguiment de la tensió i quin d'ells faria la càrrega de les bateries d'una manera més efectiva.

També es podria utilitzar un altre model de panells solars, que ens subministressin una millor eficiència de la potència rebuda i fossin més fàcils de configurar.

Per altre banda, amb l'arribada de les plaques en poc temps, es podria provar l'algorisme en Arduino sobre el PWM, el del MPPT i comprovar que realment funcionen i obtenim els resultats desitjats.

Aprofitant que s'ha hagut de realitzar una simulació, permetrà comparar els valors obtinguts experimentalment amb els simulats per tal de poder comprovar la seva veracitat.

13. BIBLIOGRAFIA

- [1] «SmallSat revolution: Tiny satellites poised to make big contributions to essential science,» 27 Gener 2017. [En línia]. Available: <http://theconversation.com/smallsat-revolution-tiny-satellites-poised-to-make-big-contributions-to-essential-science-71440>. [Últim accés: 07 Març 2019].
- [2] «SmallSats are Big Business,» 07 Març 2019. [En línia]. Available: <https://www.nanalyze.com/2019/03/smallsat-companies-building-launching-satellites/>. [Últim accés: 02 Juny 2019].
- [3] E. Mabrouk, «What are SmallSats and CubeSats?,» 7 Agost 2017. [En línia]. Available: <https://www.nasa.gov/content/what-are-smallsats-and-cubesats>. [Últim accés: 12 Març 2019].
- [4] E. Howell, «CubeSats: Tiny Payloads, Huge Benefits for Space Research,» 19 Junio 2018. [En línia]. Available: <https://www.space.com/34324-cubesats.html>. [Últim accés: 09 Març 2019].
- [5] «TechTerms, Hardware Terms, PCB Definition,» 2 Agost 2013. [En línia]. Available: <https://techterms.com/definition/pcb>. [Últim accés: 14 Març 2019].
- [6] «Convertidor Buck,» 15 Març 2016. [En línia]. Available: <https://riverglennapts.com/es/converters/213-buck-converter-step-down-chopper.html>. [Últim accés: 23 Abril 2019].
- [7] «Convertidor Boost,» 24 Gener 2016. [En línia]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Convertidor_Boost. [Últim accés: 23 Abril 2019].
- [8] «Convertidor Buck-Boost,» 30 Juliol 2017. [En línia]. Available: <https://riverglennapts.com/es/converters/216-buck-boost-converter.html>. [Últim accés: 23 Abril 2019].

- [9] «What is an MPPT?,» 08 Setembre 2016. [En línia]. Available: <https://www.solar-electric.com/learning-center/mppt-solar-charge-controllers.html/>. [Últim accés: 02 Maig 2019].
- [10] Generatuluz, «Comparativa entre reguladores PWM y MPPT,» 23 Març 2019. [En línia]. Available: <https://www.generatuluz.com/comparativa-entre-reguladores-pwm-y-mppt/>. [Últim accés: 13 Maig 2019].
- [11] D. S. Morales, *Maximum Power Point Tracking Algorithms for Photovoltaic Applications*, 2010, pp. 21-30.
- [12] A. Massoum i M. Chadli, «Comparison study of two tracking methods for photovoltaic systems,» 13 Abril 2015. [En línia]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/282956507>. [Últim accés: 22 Maig 2019].
- [13] N. Echeverría, M. G. Judewicz, G. Murcia, J. L. Strack i S. A. González, «Algoritmo MPPT de Conductancia Incremental con Doble Cota,» 05 Octubre 2014. [En línia]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/265866384>. [Últim accés: 22 Maig 2019].
- [14] N. H. Selman, «Comparison Between Perturb & Observe, Incremental Conductance and Fuzzy Logic MPPT Techniques at Different Weather Conditions,» 27 Juliol 2016. [En línia]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/306010127>. [Últim accés: 22 Maig 2019].